

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

BC. DANIEL PEŠEK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

**DETEKCE DEFEKTŮ NA VZOROVANÝCH
TEXTILIÍCH VYUŽÍVAJÍCÍ MOTIVU
VZORU A GRUPY SYMETRIÍ**

**THE DEFECT DETECTION ON THE
PATTERNED TEXTILES USING THE MOTIF
OF THE PATTERN AND THE SYMMETRY
GROUP**

KHT - 141

LIBEREC 2012

BC. DANIEL PEŠEK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Daniel PEŠEK**

Studijní program: **N 3108 PRŮMYSLOVÝ MANAGEMENT**

Studijní obor: **PRODUKTOVÝ MANAGEMENT - Textil**

Název tématu: **Detekce defektů na vzorovaných textiliích využívající motivu vzoru a grupy symetrií**

Vedoucí práce: **prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s teorií ke grupám symetrií a jejich použití pro tvorbu tapetových vzorů.
3. Analyzujte současný stav použití této teorie pro detekci defektů vzorovaných textilií.
4. Použijte vybrané metody založené na grupách symetrií pro detekci defektů na vybraných textiliích, texturách a vzorovaných tapetách.
5. Pro vybrané vzory napište skript v Matlabu.

Doporučená literatura:

1. Ngan Y. T., Pang K. H., Yung H. C., *Motif – based defect detection for patterned fabric. Pattern Recognition*, 41 (2008), pp. 1878-1894.
2. Ngan Y. T., Pang K. H., *Performance Evaluation for Motif-Based Patterned Texture Defect Detection. IEEE Transaction on Automation Science and Engineering*, Vol. 7, No. 1, 2010, pp. 58-72.
3. *A Computational Model for Periodic Pattern Perception Based on Frieze and Wallpaper Groups. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, No. 3, 2004.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří prof. RNDr. Aleši Linkovi CSc. za pomoc, rady a trpělivost při tvorbě diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena na řízení jakosti v textilním průmyslu. Vzory, které se vyskytují na tkaninách, ale i tištěných vzorech na textiliích, se dají zařadit do 17 rovinných grup symetrie. Každá z grup symetrie se řídí určitými pravidly, podle kterých je tvořena. Základem každého vzoru je motiv, který se podle daných pravidel grupy symetrie ve vzoru opakuje. Pokud je narušena symetrie ve vzoru nějakou vadou, měla by být detekována vada. Vada může být zachycena vizuální kontrolou prováděnou člověkem, nebo může být zachycena pomocí snímací techniky. V experimentální části diplomové práci je vytvořen algoritmus, který je schopen detekovat narušení symetrie motivu a nalézt vady vzoru na textiliích. Získané výsledky by bylo možné uplatnit v praxi při řízení jakosti v textilním průmyslu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Grupa symetrie (tapetová grupa), motiv, vzor, mřížka, vzorovaná textilie, detekce defektů

ANNOTATION

The thesis is aimed at the quality management in the textile industry. Patterns which occur on the fabric as well as on the printed patterns on textiles can be classified among 17 plane symmetry groups. Each of symmetry groups adheres to definite rules under which it is created. The core of each pattern is a motif, which repeats in the pattern according to the given rules of the symmetry group. If the symmetry is affected by a defect, this should be detected. The defect can be recorded either by the visual inspection done by a human or it can be detected by scanning technology. In the experimental part of the thesis, algorithm is created being capable of detecting the damage of motif symmetry and finding defects in the patterned fabric. The achieved results could be applied in the quality management practice in the textile industry.

KEY WORDS:

Symmetry (wallpaper) group, Motif, Pattern, Lattice, Patterned fabric, Defect detection

Obsah

Úvod.....	9
1. Přehled současné stavu	10
2. Přehled základních pojmů.....	11
2.1 Rovinné grupy symetrií.....	11
2.2 Mříž	12
2.3 Motiv	14
2.4 Vzor.....	14
2.5 Symetrie vzoru	14
2.6 Tapeta.....	15
3. Operace k tvorbě grup symetrií	15
3.1 Rotační symetrie.....	15
3.2 Symetrie posunutí.....	16
3.3 Zrcadlová symetrie.....	17
3.4 Klouzavě-zrcadlová symetrie.....	18
4. Dvourozměrné tapety.....	19
4.1 Označení dvourozměrných tapet.....	19
4.1.1 Grupa symetrie $p1$	20
4.1.2 Grupa symetrie $p2$	21
4.1.3 Grupa symetrie pm	22
4.1.4 Grupa symetrie pg	24
4.1.5 Grupa symetrie cm	25
4.1.6 Grupa symetrie pmm	27
4.1.7 Grupa symetrie pmg	28
4.1.8 Grupa symetrie pgg	29
4.1.9 Grupa symetrie cmm	31
4.1.10 Grupa symetrie $p4$	33
4.1.11 Grupa symetrie $p4m$	34
4.1.12 Grupa symetrie $p4g$	36
4.1.13 Grupa symetrie $p3$	37

4.1.14	Grupa symetrie $p3m1$	38
4.1.15	Grupa symetrie $p31m$	40
4.1.16	Grupa symetrie $p6$	41
4.1.17	Grupa symetrie $p6m$	43
5.	Metody detekce vad pro $P1$ grupu	44
5.1	Statistický přístup	44
5.1.1	Autokorelační funkce	44
5.1.2	Matrice vzájemných šedotónových závislostí	45
5.1.3	Matematická morfologie	45
5.1.4	Fraktální metoda	46
5.2	Spektrální přístup	46
5.2.1	Fourierova transformace	46
5.2.2	Vlnková transformace	46
5.2.3	Gaborova transformace	47
5.2.4	Přístup filtrování	47
5.3.	Přístup založený na modelu	47
5.3.1	Autoregresní model	47
5.3.2	Markova náhodná pole	47
5.4	Učící přístup	48
5.4.1	Neuronová síť	48
5.5	Strukturální přístup	48
5.6	Hybridní přístup pro další tapetové grupy	48
5.6.1	Přístup vhodné šablony	49
5.6.2	Statistický a spektrální přístup	49
6.	Metody založené na motivech	50
7.	Klasifikace grup symetrie	51
7.1	Dvourozměrné tapety	51
7.2	Algoritmus pro klasifikaci grup symetrie	51
8.	Klasifikace zobrazení vad	55
8.2	Detekce vad na vzorované textuře	61
8.3	Postup k vytvoření algoritmu k detekci vad	61

9. Měření přesnosti detekce vad	62
10. Příklad 1 ověření algoritmu u grupy symetrie <i>PMM</i>	65
11. Příklad 2 ověření algoritmu u Grupy symetrie <i>cm</i>	70
12. Příklad 3 ověření algoritmu u Grupy symetrie <i>pmm</i>	81
Závěr	90
Literatura.....	91
PŘÍLOHOVÁ ČÁST	93

ÚVOD

Materiál určený k výrobě plošných textilií jsou textilní vlákna. Na textilní vlákna a plošné textilie působí během výrobního procesu různé vnější a vnitřní vlivy, které mohou způsobit vady ve struktuře vláken i plošných textilií. Vzniklé vady mohou být nejen strukturní, ale i vizuální. Prováděním kontroly kvality plošných textilií zajišťujeme, aby bylo dosaženo vysoké kvality konečného výrobku. Proces kontroly kvality může být prováděn člověkem, ale i za použití automatické vizuální kontroly kvality. Vizuální kontrola jakosti plošných textilií prováděná lidmi je procesem tradičním a velmi často používaným. V důsledku únavy personálu, který kontrolu provádí, však dochází často k přehlédnutí drobných vad. Úroveň úspěšnosti detekce vad u kontroly, prováděné lidmi, je tak pouze 60 – 75% [1]. Tento výsledek je pro zajištění kvality nedostatečný. Proto ve stále větší míře dochází v textilním průmyslu k zavádění takzvané automatické kontroly kvality plošných textilií. Cílem procesu kontroly kvality je identifikace a lokalizace vad na plošné textilii. Úroveň procesu kontroly jakosti může mít vliv na celkové ekonomické výsledky výrobní společnosti. Nejmodernější postupy automatické vizuální detekce vad jsou schopny dosáhnout úrovně úspěchu detekce vad více než 90% [1].

V první části práce budou popsány jednotlivé grupy symetrie pro tzv. dvourozměrné tapety, jejich tvorba od jednotlivých motivů, ze kterých jsou pomocí shodných zobrazení skládány vzory. V této části práce bude také popsán postup tvorby tapet z jednotlivých vzorů pomocí operací symetrie v rovině, tak aby byla zachována izometrie.

V další části diplomové práce budou popsány jednotlivé přístupy, které se v současné době používají k detekci vad na plošných textiliích.

Dále bude teoreticky popsána metoda založená na analýze motivu na grupách symetrie.

V experimentální části diplomové práce bude na třech různých typech tkanin proveden test detekce vad. Pomocí skriptu vytvořeného v programu MATLAB bude provedena u těchto tkanin detekce vizuálních vad.

1. PŘEHLED SOUČASNÉ STAVU

V textilním průmyslu je podle [1] v současné době definováno více jak 70 kategorií vad plošných textilií. Automatická vizuální detekce vad plošných textilií dosahuje v dnešní době úrovně úspěchu detekce více než 90%. V porovnání s kontrolou, která je prováděna lidskou obsluhou, je uvedená hodnota značně vyšší. Je tudíž jedinou cestou k zajištění kvality plošných textilií a dosažení nižších ekonomických ztrát.

Plošné textilie mohou být považovány za vzorované dvourozměrné (2D) textury. Vhodnou analýzou vzorovaných textur plošných textilií je možno zajistit detekci vad, které se objevují na plošných textiliích. Každá vzorovaná 2D textura může být definována základní mřížkou, která se řídí 17 znaky rovinných grup symetrie (*wallpaper groups*) nazývanými též tapetami.

Vzorované textury jednotlivých grup mohou být odvozeny alespoň jedním z pravidel symetrie na mřížce. Vytvoření vzorovaných textur je možno uskutečnit pomocí shodného zobrazení v rovině jako je posun, rotace, zrcadlová a klouzavě-zrcadlová symetrie.

Každá z grup symetrie má své pojmenování. Grupy symetrií jsou známy jako $p1$, $p2$, pm , pg , cm , pmm , pmg , pgg , cmg , $p4$, $p4m$, $p4g$, $p3$, $p3m1$, $p31m$, $p6$ a $p6m$. Současná nejmodernější automatická detekce vad vzorovaných textilií je tvořena dvěma přístupy. Jedním z používaných postupů je přístup, který je založený na motivu (*motiv-based*) a druhým je přístup, který není založený na motivu (*non-motif-based*).

Na přístup, který není založený na motivu (*non-motif-based approach*) je zaměřeno velké množství prací. Přístup, který není založený na motivu, využívá více než jeden motiv k získání vhodné charakteristiky. Obvykle tento přístup využívá velké množství motivů. Tento přístup je již dobře prozkoumaný a nebude tak předmětem této práce.

Druhý přístup založený na motivu (*motif-based approach*) byl vyvinut zcela nedávno. Tento přístup považuje motiv za základní manipulační jednotku, která vychází z definice dvourozměrných tapet. Přístup založený na motivu využívá charakteristik nejmenší jednotky vzoru, motivu. Principem této metody je, že motiv je ve vzoru a celé

tapetě pomocí operací shodného zobrazení neustále opakován a proto je možné sledovat charakteristiky motivu po celé šíři a délce.

2. PŘEHLED ZÁKLADNÍCH POJMŮ

V následující kapitole jsou uvedeny jednotlivé pojmy s nimiž je možné se setkat při stavbě a určování grup symetrie.

2.1 Rovinné grupy symetrií

Obecně lze konstatovat, že rovinné grupy symetrie představují, či nacházejí symetrie ve dvourozměrných obrazech, nebo vzorech. To znamená, že je nutné zachovávat určité pravidelnosti, které se nazývají izometrie. Izometrie může být chápána jako zachovávání vzdálenosti, tvaru a ostatních vlastností daného objektu. Dochází tedy k převedení dvourozměrného vzoru ve vzor naprosto identický s původním. Vznikají tak rovinné grupy symetrie, jejichž celkový počet je 17.

Definice funkce rovinného obrazu je podle [2] $\Phi: \mathbf{R}^2 \rightarrow \{c_1, \dots, c_n\}$ kde $c_1 \dots c_n$ jsou barvy.

Izometrií rovinného obrazu, či vzoru Φ je izometrie $f: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^2$ taková, že pro každé $x \in \mathbf{R}^2$, $\Phi(f(x)) = \Phi(x)$. Rovinná grupa symetrie je grupa, obsahující všechny izometrie, které mohou být zjištěny na motivu. Rovinná grupa symetrie je množina izometrií, které mohou být provedeny na opakujícím se dvourozměrném vzoru.

Je třeba zajistit, aby inverze izometrie byla opět izometrie. Proto musí pro izometrii f platit:

$$\Phi \circ f(x) = \Phi(x) \Rightarrow \Phi \circ f^{-1} \circ f(x) = \Phi \circ f^{-1}(x) \Rightarrow \Phi(x) = \Phi \circ f^{-1}. \quad (1)$$

Uvedený vztah dokazuje, že inverze izometrie je opět izometrie.

2.2 Mříž

Spojení vrcholů jednotlivých vzorů dvourozměrných tapet může mít různé tvary. Pokud jsou v rovinném zobrazení spojovány dohromady, vzniká tzv. mříž. Jedna z definic mříže je podle [2] množina bodů tvořená dvěma posunutími v rovinné grupě symetrie. Mříž je množina bodů τ , postavených v bodech x v obraze \mathbf{R}^2 , tak že platí vztah:

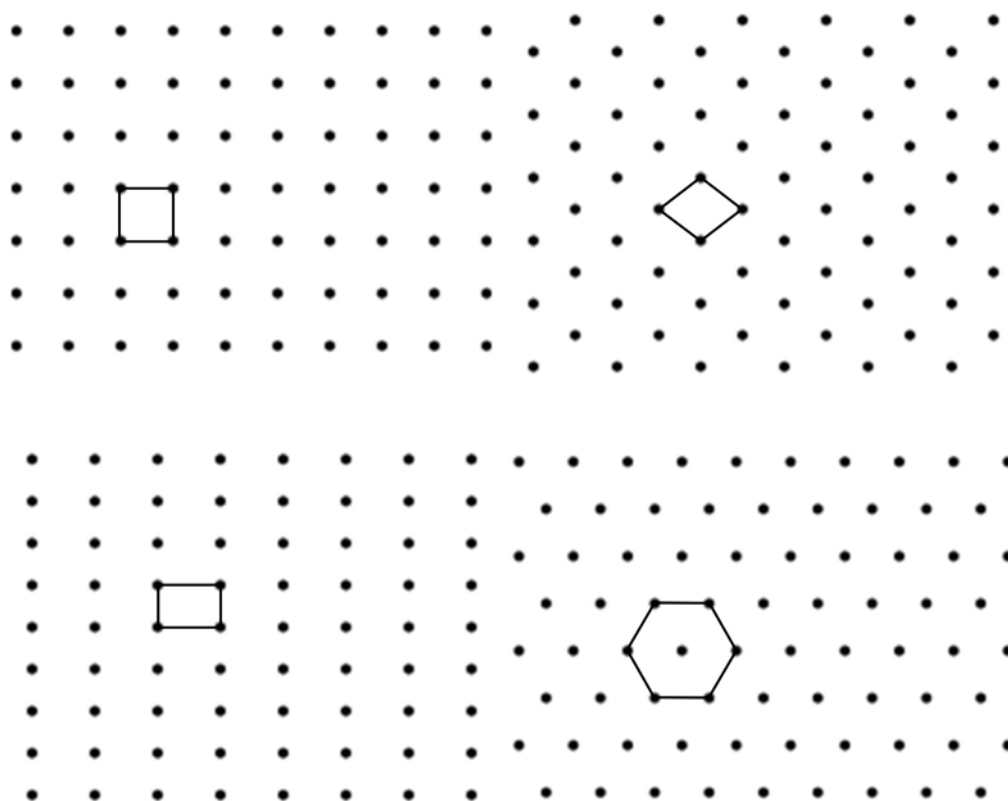
$$\tau = \{(T_1^n + T_2^m) \cdot (x) / n, m \in \mathbf{Z}\}. \quad (2)$$

Další definicí mříže grupy symetrie je grupa $\langle X \rangle$, která je tvořena užitím os posunutí T_1 a T_2 . Mříž může být tvořena na jakémkoliv bodu obrazu $x \in \mathbf{R}^2$.

U dvourozměrných tapet jsou známy následující typy mříží:

1. Čtvercová
2. Kosočtverečná
3. Obdélníková
4. Hexagonální

Tvar mříže je závislý na délce stran a a b a dále závisí na úhlu θ , který mezi sebou strany a a b svírají. Jednotlivé body mříží představují vrcholy hranic jednotlivých vzorů a mříž může být nasazena na rovinný obraz dvourozměrné tapety. Přehled základních typů mříží dvourozměrných tapet je uveden na obrázku 1.



Obr. 1 Přehled základních mříží vzorů

2.3 Motiv

Motivem se rozumí nejmenší základní stavební prvek každého vzoru. Motiv je podle [3] definován jako $M = [f(c, d)]$. Motiv, nebo jednotlivé motivy jsou skládány podle daných pravidel do útvarů. Tímto způsobem je vytvářen vzor, který je dále použit na celou dvourozměrnou tapetu.

2.4 Vzor

Vzorem se podle [2] rozumí rovinný obraz, který se nezmění aplikací dvou lineárně nezávislých a izometrických posunutí v rovině. Pravidelným opakováním jednoho, nebo více motivů, je tvořen vzor. Jednotlivé vzory mohou být ohraničeny. Ohraničený vzor tvoří základní stavební prvek dvourozměrné tapety. Řazením ohraničených vzorů do soustav určených sítí mříže vznikají tapety.

Podle práce [2] v nekonečné čtvercové mříži o straně čtverce s je minimální lineárně nezávislé posunutí vyjádřeno jako zobrazení $T_x(x) = x + (s, 0)$ a $T_y(x) = x + (0, s)$.

2.5 Symetrie vzoru

Symetrii vzoru je možné podle [4] definovat několika způsoby:

1. Pro jeden motiv vzoru je možné najít dvě, nebo více pozic motivu jinde na tapetě. Tyto motivy je pak možné položit přesně na sebe a musí být zachována izometrie.
2. Motivy, které jsou porovnávány, musí být shodné.
3. Motiv se při vytváření vzoru posunuje různými směry, ovšem kdykoliv dojde k přeložení na sebe, musí se shodovat.
4. Jedna z pozic musí souhlasit s identickou symetrií.
5. Motiv zůstává nezměněný v místě identické symetrie a ostatní motivy a ostatní motivy korespondují s jednou ze základních operací symetrie tvorby vzorů.

Vzor je tedy možné označit jako symetrický pokud jsou splněny předchozí podmínky. A právě všechny symetrické vzory je možno definovat a vytvářet pomocí 17 grup symetrie.

2.6 Tapeta

Jsou známy dva typy tapet. Prvním typem je tapeta jednorozměrná. Jednorozměrná tapeta se vyznačuje tím, že je tvořena skládáním vzoru vedle sebe. Vznikne tak pruh pouze v jednom směru, např. v ose x .

Druhým typem tapety je tapeta dvourozměrná. Dvourozměrná tapeta vzniká opakováním vzoru jak po celé šíři, tak i po délce materiálu. Vzor se tak vyskytuje jak v ose x , tak i v ose y .

3. OPERACE K TVORBĚ GRUP SYMETRIÍ

Více motivů složených do sebe podle daných pravidel symetrie tvoří vzor. Jsou známy čtyři základní operace symetrie k tvorbě vzoru. Operace s motivem potřebné ke vzniku vzoru:

1. Rotační symetrie
2. Symetrie posunutím
3. Zrcadlová symetrie
4. Klouzavě zrcadlová symetrie

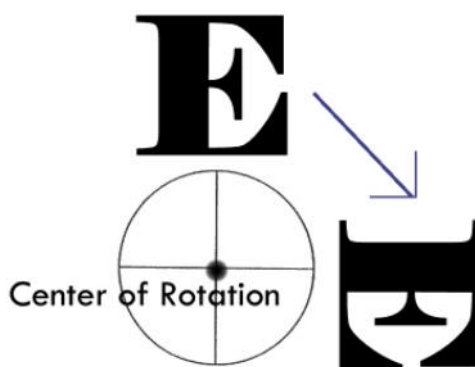
3.1 Rotační symetrie

Rotace znamená podle [2] otočení bodů pod určitým úhlem okolo centrálního pevného bodu. Motiv může podléhat určitému stupni rotační symetrie. Stupeň rotační symetrie je značen celým číslem 2, 3, 4 a 6. Pro rotační posun platí vztah $2\pi/n$ pro každé $n \in \mathbb{N}$. Jestliže je rotace izometrií, potom n násobek rotace také izometrií. Motiv tudíž rotuje okolo jednoho bodu podle zmíněného vztahu a je tak tvořen vzor. Bod, okolo kterého motiv rotuje, se nazývá centrálním bodem rotace.

V práci [2] je libovolně vybraný bod A a libovolně vybraný bod B , který je v minimální vzdálenosti od bodu A v určitém typu mříže. Necht' se stanou tyto vybrané body centry rotační symetrie pro stupeň rotace daný vztahem $2\pi/n$. Může být nalezen bod A' rotací $2\pi/n$ okolo bodu B a naopak může být nalezen rotací $2\pi/n$ bod B' pomocí bodu A' podle daného stupně rotace $2\pi/n$. Jelikož jsou obě transformace izometrické, tak platí, že $AB = A'B = A'B' = L$. Body AB' a AA' jsou označeny jako X a Y . Jelikož B bylo vybráno v minimální vzdálenosti od A , pak platí, že $AB \leq AB'$ a $AB \leq AA'$, případně je možné označit jako $L \leq X$ a $L \leq Y$.

Jestliže $n = 5$, potom body A , B , A' a B' tvoří lichoběžník $ABA'B'$. Protož platí $2\pi/5 < 2\pi/4$ dostáváme: $X = A'B(1 - 2\cos 2\pi/5) < A'B(1 - 2\cos 2\pi/4) = A'B = L$. Tudíž je $L > X$ a tento rozpor dokazuje, že 5 - násobná rotační symetrie není možná.

Rotační symetrie je znázorněna na obrázku 2.



Obr. 2 Zobrazení rotační symetrie podle [9]

Například 6 – násobná rotace, podle vztahu $2\pi/6$ znamená, že motiv je okolo centrálního bodu rotace otáčen o 60° . Stejným způsobem je postupováno i při ostatních možných stupních rotace.

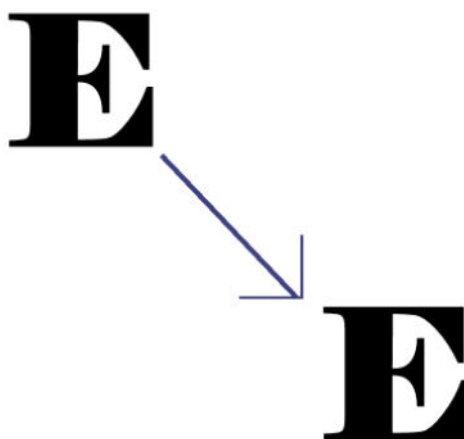
3.2 Symetrie posunutí

Posunutí, někdy zvané translace podle [4] znamená, že množina bodů, které jsou obsaženy ve vzoru mohou být posunuty jakýmkoliv směrem a zůstává mezi nimi zachována stále stejná orientace. Mezi všemi body posunutého obrazu a původního obrazu jsou zachovány stejné vzdálenosti a stejné vektory.

Matematicky je podle [2], posunutí v rovině vyjádřeno funkcí: $T: x \rightarrow x+v$, kde v představuje vektor v rovině.

Dvě posunutí $T_1: x \rightarrow x+v_1$ a $T_2: x \rightarrow x+v_2$ jsou tudíž lineárně nezávislé, jestliže vektory v_1 a v_2 jsou také lineárně nezávislé. Lze také vyjádřit vztahem $T^n(x) = x+nv$.

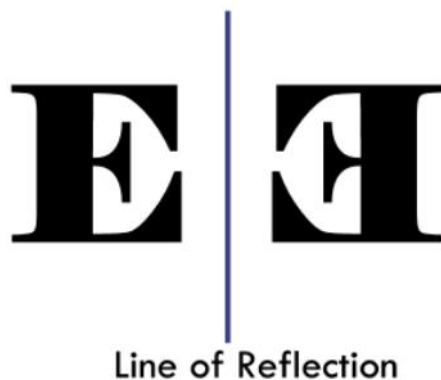
Jinými slovy, posunutí lze podle [5] také vyjádřit jako množinu všech posunutí, kdy dochází ke stejnému zobrazení původního obrazu. Posunutí v rovině je znázorněno na obrázku 3.



Obr. 3 Zobrazení symetrie posunutí podle [9]

3.3 Zrcadlová symetrie

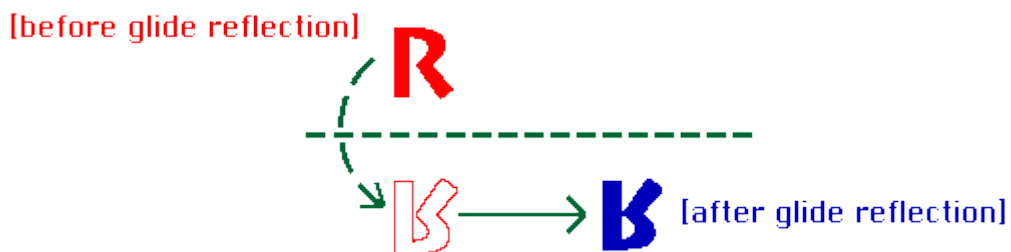
Osa zrcadlové symetrie je podle [4] používána tehdy, jestliže je potřeba motiv ve vzoru zobrazit zrcadlově. Osa zrcadlové symetrie je označována v gupě symetrie písmenem m . Poloha osy zrcadlové symetrie ve vzoru, může být jak vertikální, tak horizontální. Prostřednictvím zrcadlové symetrie dojde k převrácení množiny bodů přes osu zrcadlové symetrie. Použitím osy zrcadlové symetrie m je zachována izometrie. Zobrazení zrcadlové symetrie je na obrázku 4.



Obr. 4 Zobrazení zrcadlové symetrie podle [9]

3.4 Klouzavě-zrcadlová symetrie

Značení klouzavě-zrcadlové symetrie v grupě symetrie je pomocí písmena g . Motivy ve vzoru jsou podle [4] složeny pomocí kombinace zrcadlové symetrie a posunutím v rovině. Přes osu zrcadlové symetrie nejprve dojde k převrácení množiny bodů a následuje posunutí ve směru vektoru. Zobrazení klouzavě-zrcadlové symetrie je na obrázku 5.



Obr. 5 Zobrazení klouzavě-zrcadlové symetrie podle [10]







4. DVOUROZMĚRNÉ TAPETY

Dvourozměrné tapety jsou tapety složené z jednotlivých vzorů, které jsou podle vlastností grup symetrie zobrazeny jak ve směru osy x , tak ve směru osy y .

4.1 Označení dvourozměrných tapet

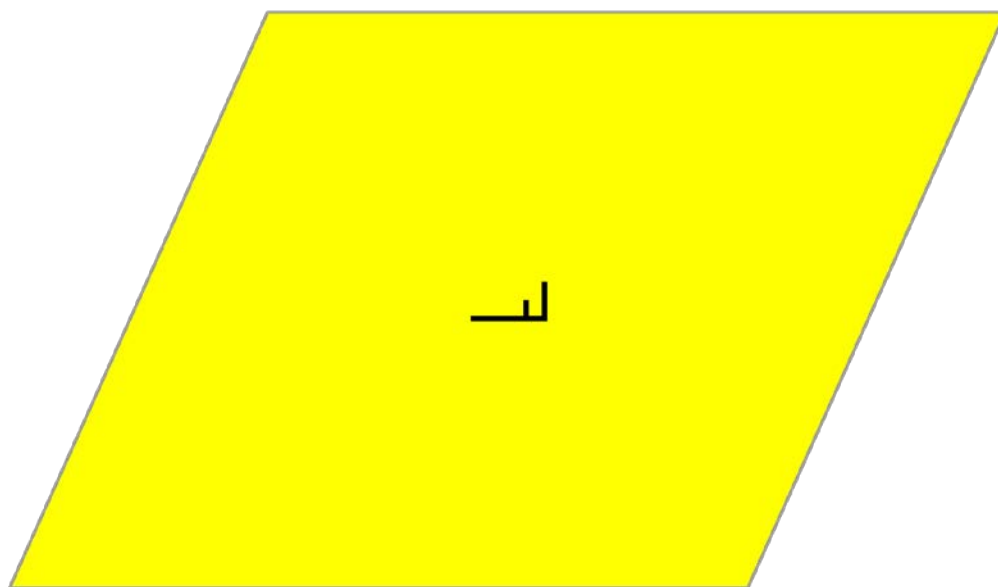
Jak již bylo zmíněno každá ze 17 grup symetrií má své označení. V práci [1] jsou grupy symetrie označeny jako $p1$, $p2$, pm , pg , cm , pmm , pmg , pgg , cmg , $p4$, $p4m$, $p4g$, $p3$, $p3m1$, $p31m$, $p6$ a $p6m$. Význam jednotlivých písmen a číslic je následující: písmeno p znamená *primitive*, zatímco písmeno c znamená *face-centered cell*. Celé číslo, které se objevuje v popisu jednotlivé grupy po písmenu p , označuje pořadí rotační symetrie. Rotační symetrie se může objevovat v základní jako 1 – násobná, 2 – násobná, 3 – násobná, 4 – násobná a 6 – násobná. Symbolem m je označeno, že se jedná o zrcadlovou symetrii. Symbol g udává, že se jedná o klouzavě-zrcadlovou symetrii. Ta označuje, že se vzor může zobrazit v jedné řadě a posunout do určité vzdálenosti, jejímž účelem je dosažení naprosto stejného vzoru. V tabulce 1 je uvedena legenda pro popis symbolů při zařazování grup symetrie dvourozměrných tapet.

Tabulka 1 Legenda operací grup symetrie

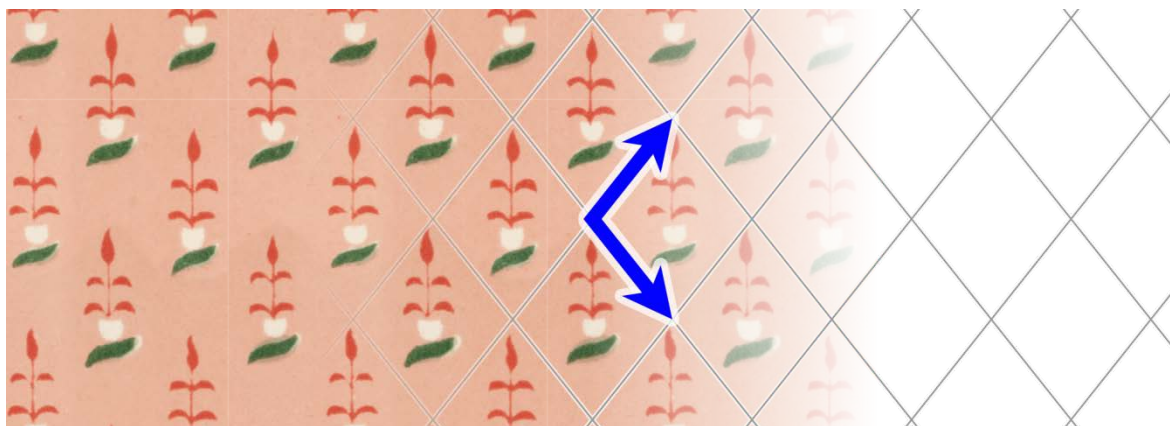
	Centrum 2-násobné rotace (180°).
	Centrum 3-násobné rotace (120°).
	Centrum 4-násobné rotace (90°).
	Centrum 6-násobné rotace (60°).
	Osa zrcadlové symetrie
	Osa klouzavě-zrcadlové symetrie

4.1.1 Grupa symetrie $p1$

Grupa symetrie $p1$ je tvořena pouze pomocí směru posunutí $T1$ a $T2$, které jsou aplikovány na základní buňku vzoru. Jedním ze způsobů použití je směr posunutí $T2$, který je aplikován na jednorozměrnou tapetu $p111$. Druhým ze způsobu získání dvourozměrné tapety je nahrazení boční meze základní buňky směrem posunutí $T2$. Takto může vzniknout pruh, který má šířku W . Horní mez pruhu je odstraněna a následně je horní mez nahrazena osou směru posunutí $T2$. Na každou další horní mez nového pruhu je aplikována osa směru posunutí $T2$. Tvarem motivu grupy symetrie $p1$ je rovnoběžník. Na obrázku 6 je zobrazen motiv grupy symetrie $p1a$ na obrázku 7 je zobrazen reálný motiv.



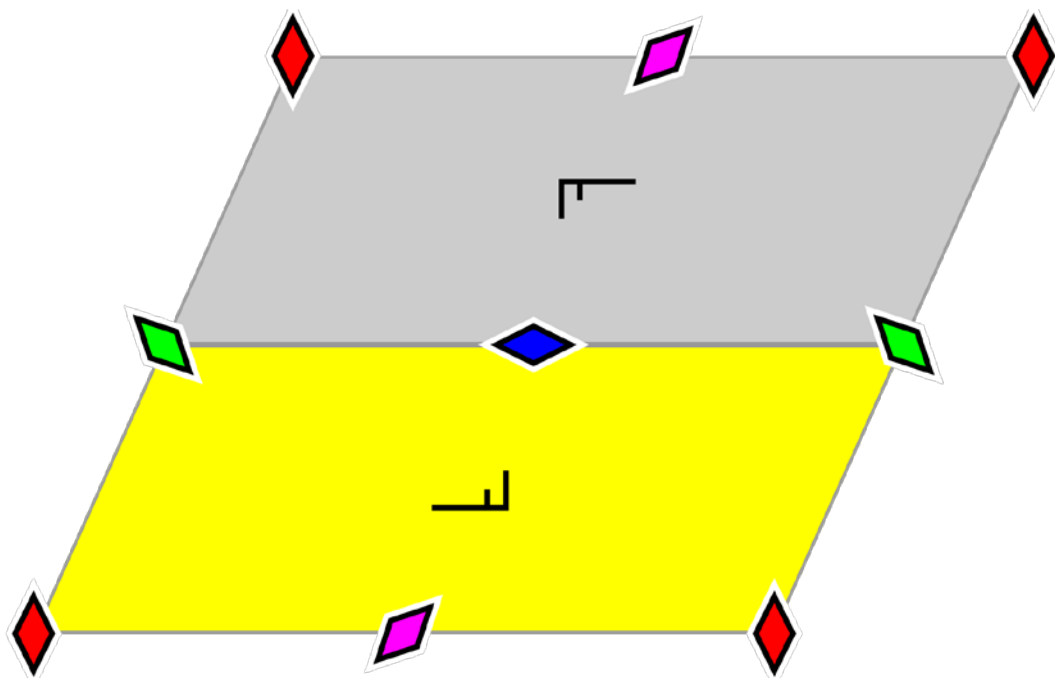
Obr. 6 Grupa symetrie $p1$ podle [11]



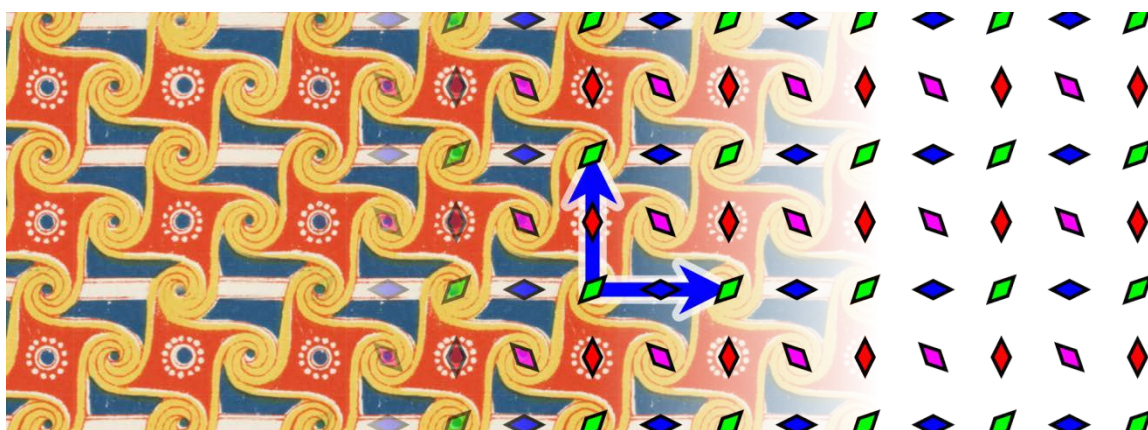
Obr. 7 Reálný vzor grupy symetrie $p1$ podle [11]

4.1.2 Grupa symetrie $p2$

Grupa symetrie $p2$ obsahuje centra 2 – násobné rotační symetrie. V této grupě není obsažena zrcadlová ani klouzavě zrcadlová symetrie. Tato grupa může být tvořena postupným užitím směru posunutí $T2$ na pruh, který vychází z jednorozměrné tapety $p112$. Další variantou tvorby je nahrazení rovného okraje základní buňky centrem 2 - násobné rotace, která je nahrazena u každé sousední hrany v podélném směru použitím směru posunu $T1$. Horní okraj pruhu je nahrazen směrem posunutí $T2$. Tvarem základního motivu grupy symetrie $p2$ je rovnoběžník. Základní vzor má uprostřed horní meze základní motivu centrální bod dvounásobné rotace. Základní vzor dvourozměrné tapety vzniká aplikací rotace. Na obrázku 8 je zobrazen základní motiv a na obrázku 9 je zobrazen reálný vzor grupy symetrie $p2$.



Obr. 8 Grupa symetrie $p2$ podle [11]

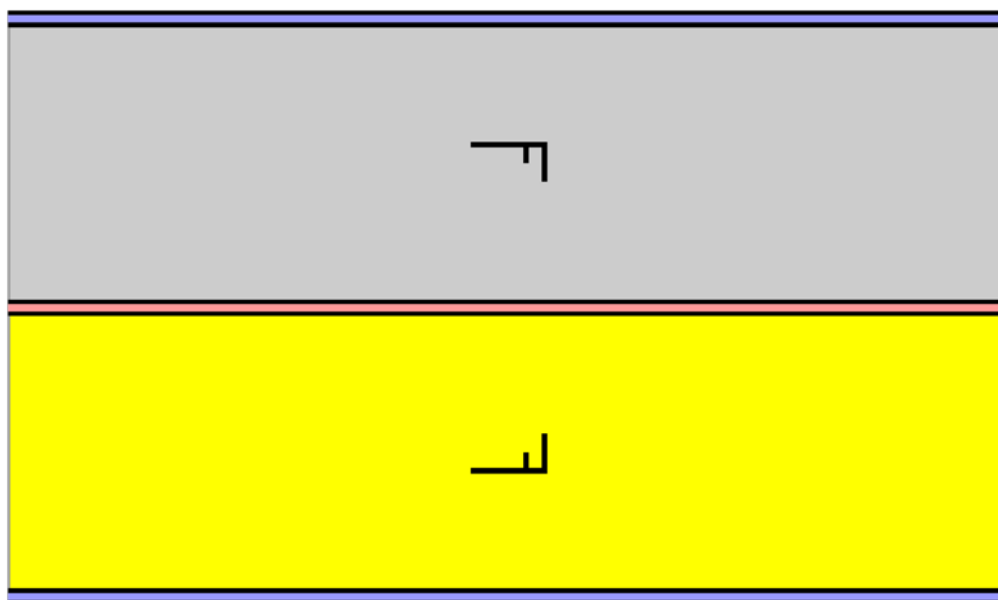


Obr. 9 Reálný vzor grupy symetrie $p2$ podle [11]

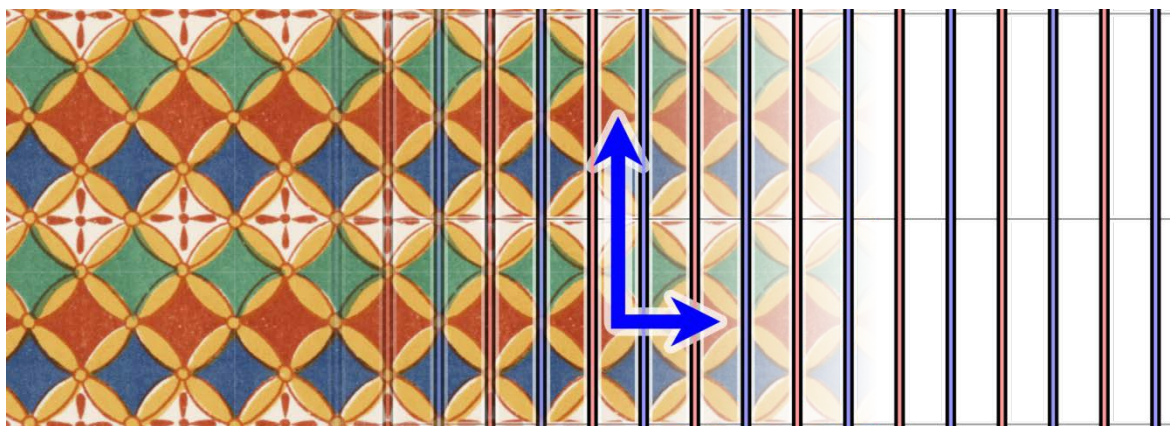
4.1.3 Grupa symetrie pm

Grupa symetrie pm neobsahuje žádnou rotaci. Obsahuje pouze osy zrcadlové symetrie, jejichž osy jsou navzájem rovnoběžné. Jedna osa zrcadlové symetrie je uprostřed základního vzoru a dvě osy zrcadlové symetrie jsou na horním a dolním okraji základního vzoru.

Jedním ze způsobů vzniku tapety je aplikace směru posunutí $T2$ na pruh jednorozměrné tapety $plml$. Dalším způsobem vzniku tapety je na základě aplikace osy zrcadlové symetrie m na jednu z bočních stran základního motivu. Osa je opakovaně použita na každou další následující hranici motivu. Takovým postupem je tvořen pruh, který má šířku W . Horní hranice pruhu je odstraněna a je nahrazena směrem posunutí $T2$. Vytvoření celé tapety se provádí pomocí aplikace osy směru posunutí $T2$ na vytvořený pruh o šíři $2W$. Základním tvarem motivu grupy symetrie je pm je obdélník. Použitím této osy zrcadlové symetrie m je zrcadlově zobrazen motiv. Vzniká tak základní stavební prvek k vytvoření dvourozměrné tapety. Na obrázku 10 je základní motiv a vzor, na obrázku 11 je reálný vzor grupy symetrie pm .



Obr. 10 Grupa symetrie pm podle [11]

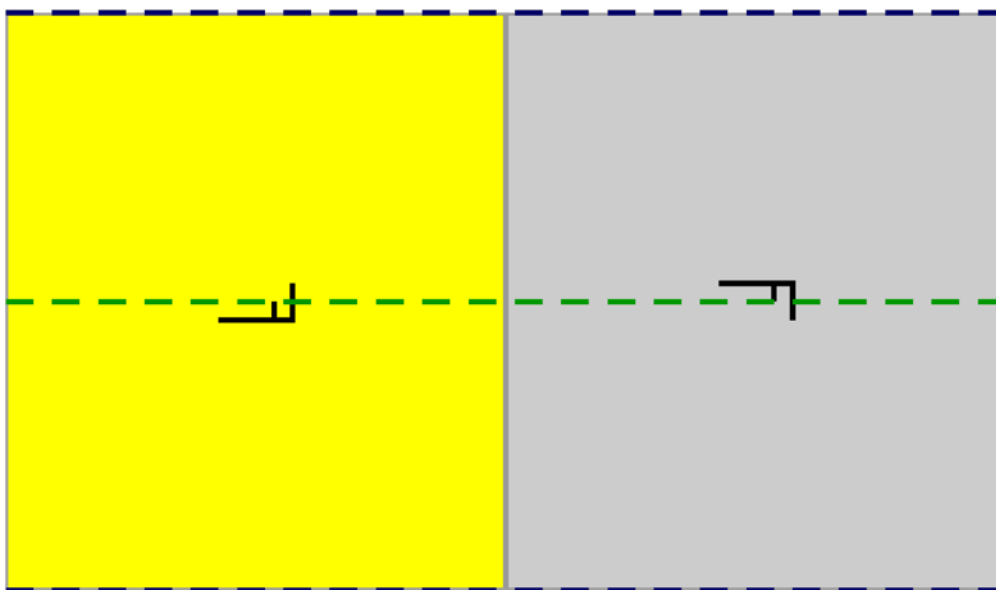


Obr. 11 Reálný vzor grupy symetrie pm podle [11]

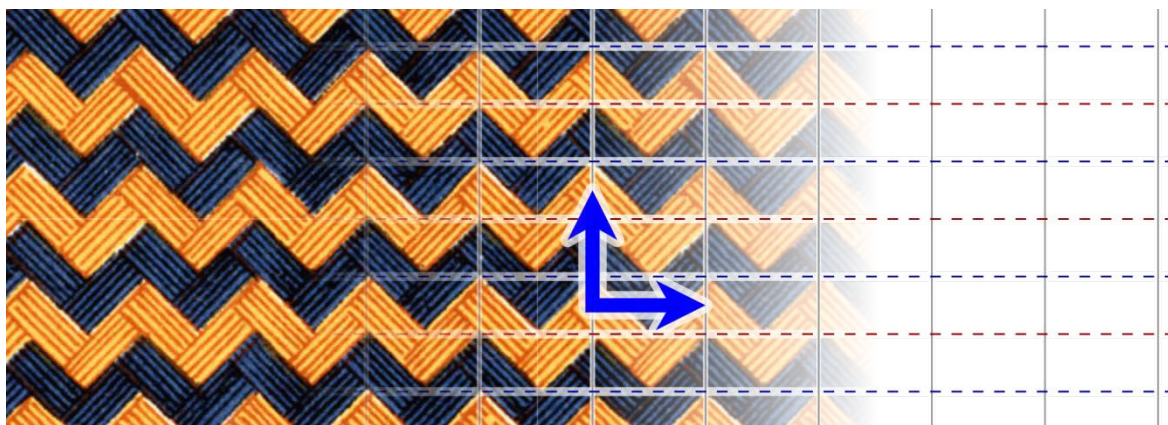
4.1.4 Grupa symetrie pg

Grupa symetrie pg obsahuje pouze klouzavě zrcadlovou symetrii g . Osy zrcadlové symetrie jsou vzájemně rovnoběžné. Prvním ze způsobů tvorby tapety vychází ze základu jednorozměrné tapety $plal$. Tapeta je dále vytvářena aplikací směru posunutí T_2 .

Druhým ze způsobů tvorby tapety je, že horní hranice základního motivu je přemístěn na spodní okraj pruhu a nahrazen osou klouzavě-zrcadlové symetrie g , kde dojde k asymetrickému posunutí. Převrácením motivu podél osy tak vzniká základní vzor pro vytvoření dvourozměrné tapety. Osa je potom použita k nahrazení ostatních mezí podélného směru. Horní hranice vzniklého pruhu je nahrazena směrem posunutí T_2 . Směr posunutí T_2 je potom využit k nahrazení všech horních mezí vytvořených pruhů. Tvarem základního motivu vzoru grupy symetrie pg je čtverec. Na obrázku 12 je znázorněn motiv a vzoru, na obrázku 13 je reálný vzor grupy symetrie pg .



Obr. 12 Grupa symetrie pg podle [11]



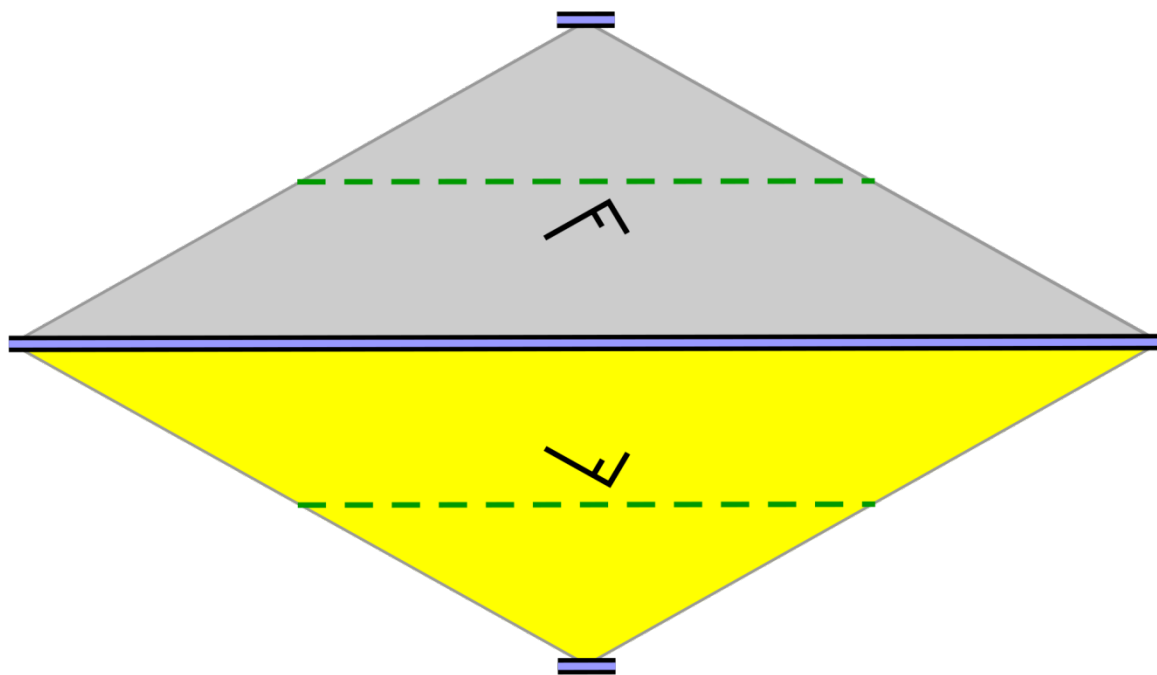
Obr. 13 Reálný vzor grupy symetrie pg podle [11]

4.1.5 Grupa symetrie cm

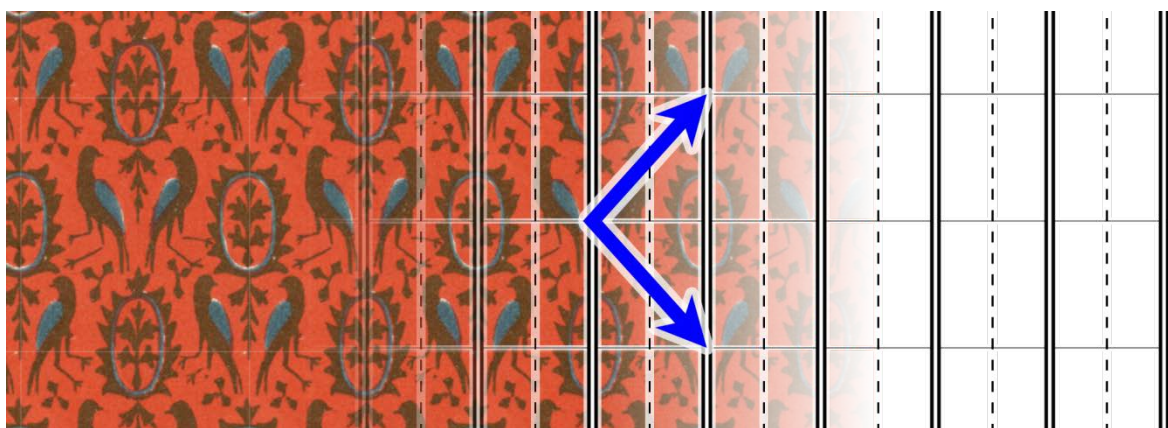
Grupa symetrie cm neobsahuje žádnou rotaci. Obsahuje osy zrcadlové symetrie, které jsou navzájem rovnoběžné. Dále tato grupa symetrie obsahuje osy klouzavě zrcadlové symetrie, které leží rovnoběžně mezi osami zrcadlové symetrie.

Tapetu je možné tvořit z jednorozměrné tapety $plal$ použitím osy zrcadlové symetrie m aby vznikl pruh o šířce $2W$. Konečný tvar vznikne postupnou aplikací směru posunutí

T3. K vytvoření dvourozměrné tapety je nutné aplikovat směr posunutí *T3* na pruh o šířce $2W$, který vznikne pomocí osy zrcadlové symetrie *m*. V grupě symetrie *cm* je tvarem základního motivu trojúhelník. Jedna z hranic motivu je také osou zrcadlové symetrie, jejímž použitím vzniká základní vzor. Takto vzniká nejdříve základní vzor a potom vzniká dvourozměrná tapeta. Na obrázku 14 je základní motiv vzoru a na obrázku 15 je reálný vzor grupy symetrie *cm*.



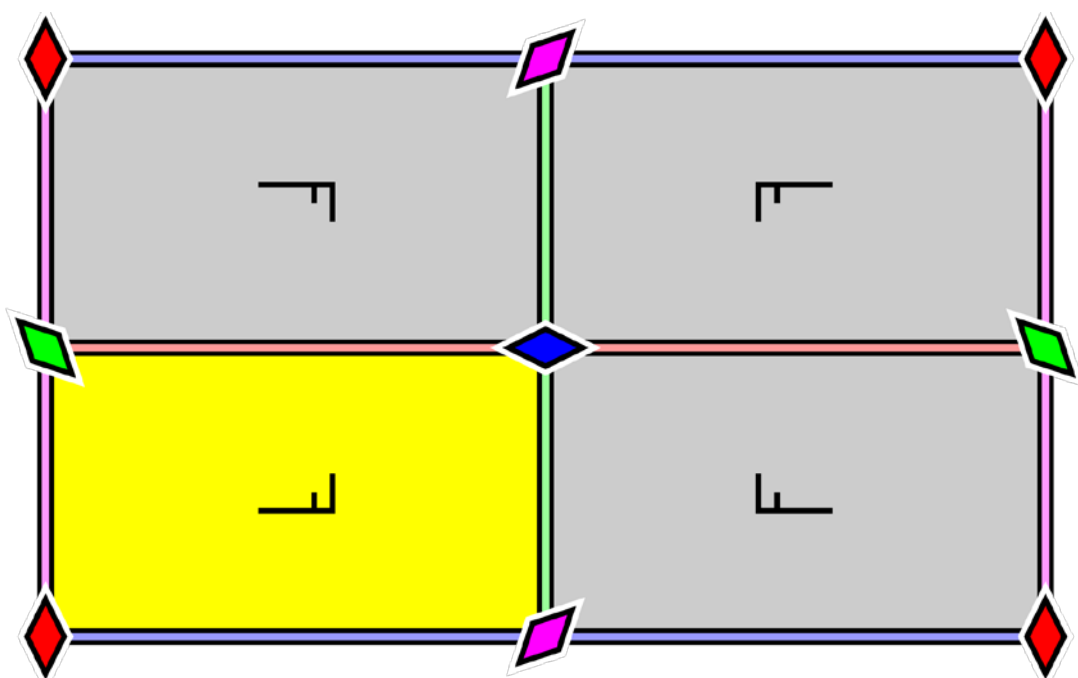
Obr. 14 Grupa symetrie *cm* podle [11]



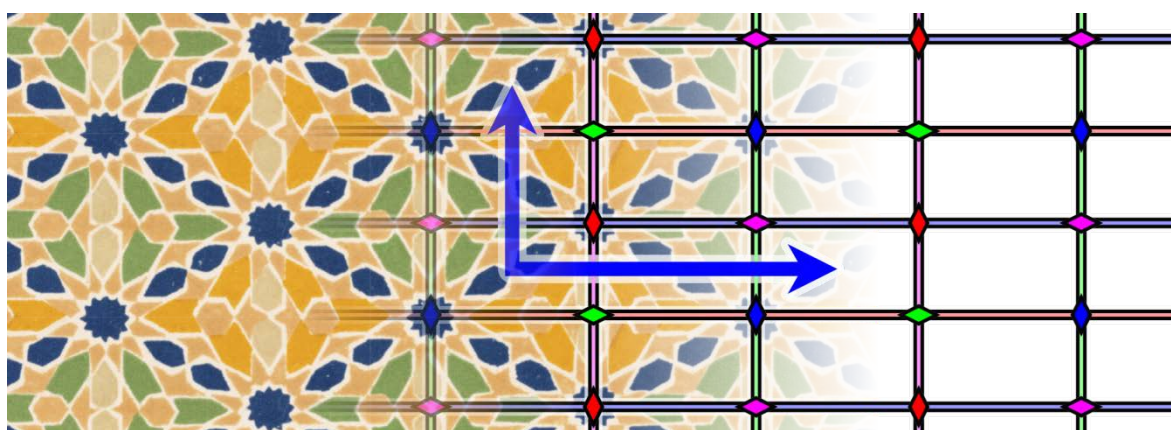
Obr. 15 Reálný vzor grupy symetrie *cm* podle [11]

4.1.6 Grupa symetrie pmm

Grupa symetrie pmm obsahuje osy zrcadlové symetrie m , které jsou na sebe kolmé. Dále obsahuje centra 2 – násobné rotace, které se nalézají na křížení s osami zrcadlové symetrie. Tvar základního motivu a motivu grupy symetrie pmm je obdélník. Použitím center dvoustupňové rotace a os zrcadlové symetrie je tvořen vzor. Motiv je ohraničený osami zrcadlové symetrie m , které jsou aplikovány na boční a horní meze základního vzoru. Zobrazení motivu a vzoru je na obrázku 16 a reálný vzor grupy symetrie pmm je zobrazen na obrázku 17.



Obr. 16 Grupa symetrie pmm podle [11]



Obr. 17 Reálný vzor grupy symetrie pmm podle [11]

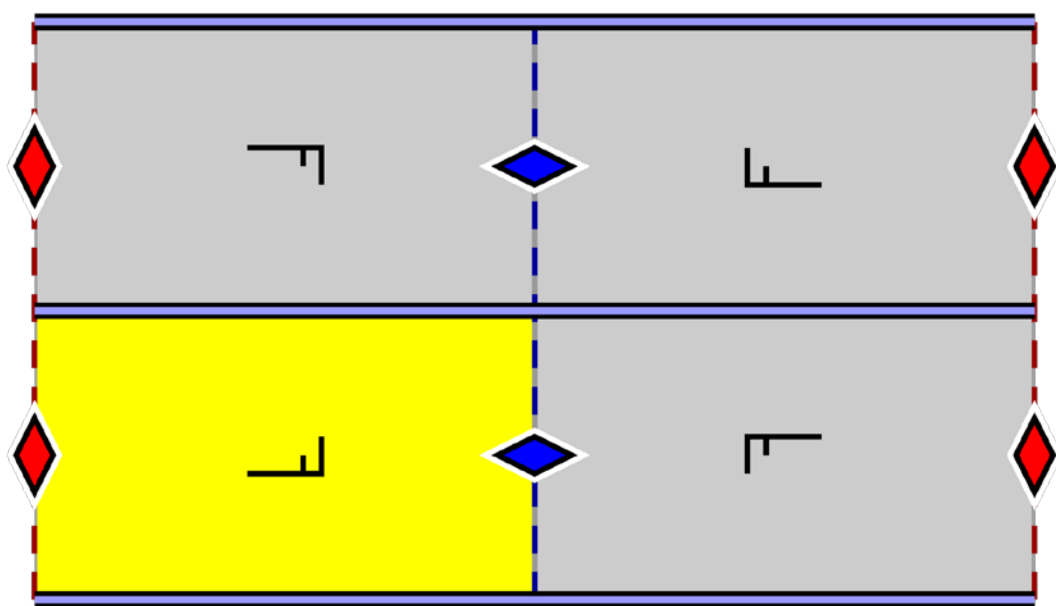
4.1.7 Grupa symetrie pmg

Grupa symetrie pmg obsahuje centra 2 – násobné rotace a osy zrcadlové symetrie m v podélném směru. Grupa obsahuje také klouzavě zrcadlovou symetrii g , která je kolmá k ose zrcadlové symetrie. Centra 2 – násobné rotace leží na osách klouzavě zrcadlové symetrie.

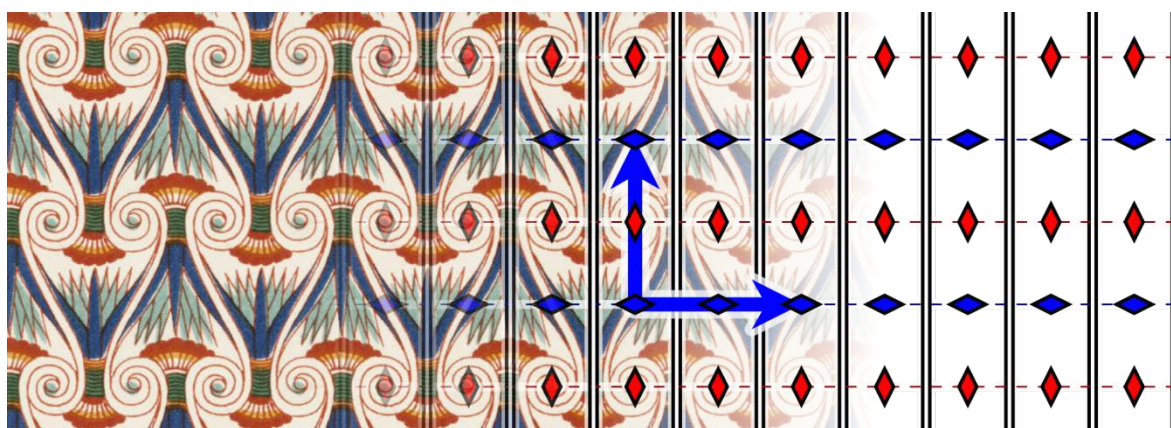
Dvourozměrná tapeta grupy symetrie může být tvořena postupnou aplikací směru posunutí T_2 na jednorozměrnou tapetu pma_2 .

Vznik tvorby tapety grupy symetrie pmg se uskutečňuje tak, že se boční hranice základního motivu střídavě nahrazuje osou s centrem 2 - násobné rotace a osou zrcadlové symetrie m . Horní mez pruhu je nahrazena směrem posunutí T_2 , která se aplikuje na pruh o šíři W .

Motiv grupy symetrie pmg je obdélníkového tvaru. Motiv je otočen o 180 stupňů, protože obsahuje centra 2 - násobné rotace a vzniká pruh o šířce W . Také obsahuje osu zrcadlové symetrie m , pomocí které vznikne vzor o šířce $2W$. Základní vzor a motiv grupy symetrie pmg je na obrázku 18 a reálný vzor je na obrázku 19.



Obr. 18 Grupa symetrie pmg podle [11]



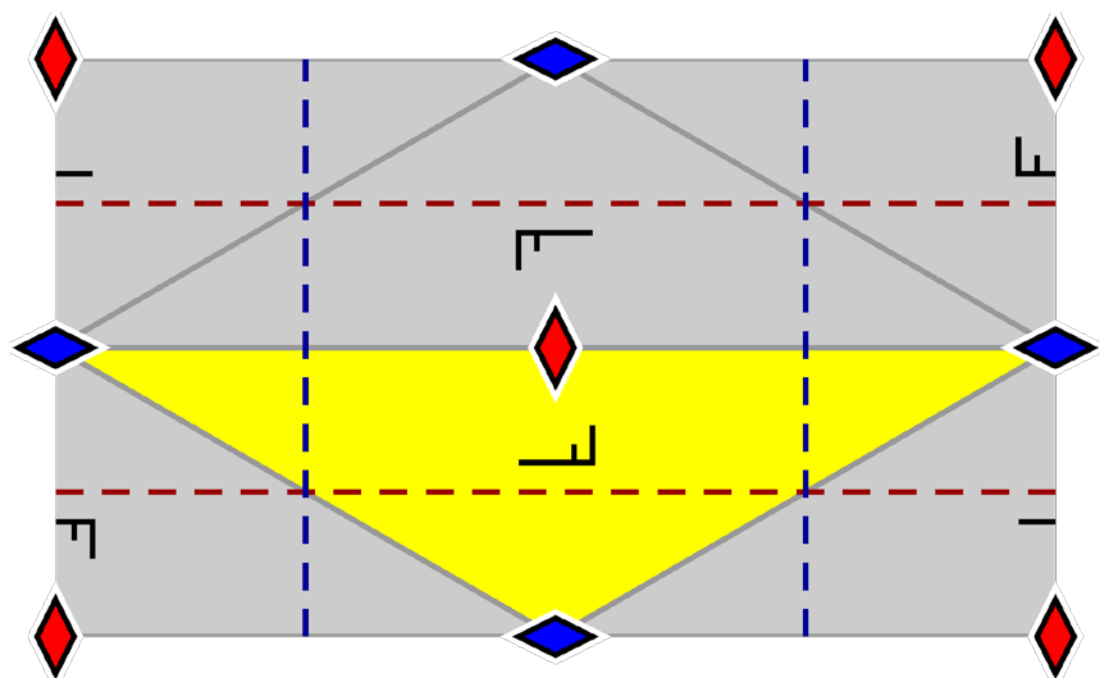
Obr. 19 Reálný vzor grupy symetrie pmg podle [11]

4.1.8 Grupa symetrie pgg

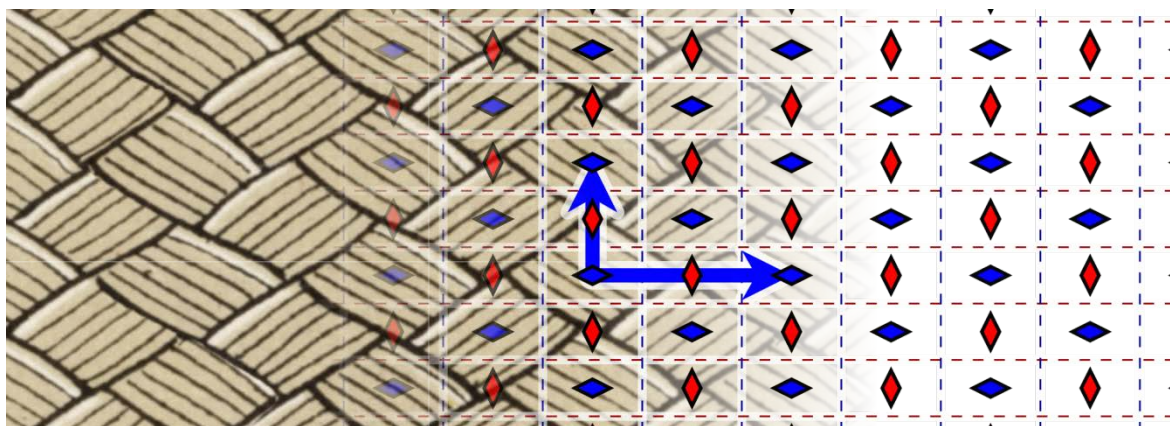
Grupa symetrie pgg obsahuje dvě centra 2 - násobné rotační symetrie. Dále obsahuje osy klouzavě zrcadlové symetrie g ve dvou na sebe kolmých směrech. Centra rotace nejsou umístěna na osách klouzavě zrcadlové symetrie.

Horní oblast základního motivu je přeložena na spodní oblast základního motivu a je aplikována osa klouzavě zrcadlové symetrie g , která je použita v podélném směru na každý sousední okraj.

Vzor je vytvořen způsobem, že jedna z mezí základního motivu obsahuje ve svém středu centrální bod 2 - násobné rotace. Motiv rotuje okolo tohoto bodu o 180 stupňů a tím je vytvořen vzor. Základním tvarem motivu grupy symetrie pgg je trojúhelník. Základní motiv grupy symetrie pgg je zobrazen na obrázku 20 a reálný vzor je na obrázku 21.



Obr. 20 Grupa symetrie pgg podle [11]



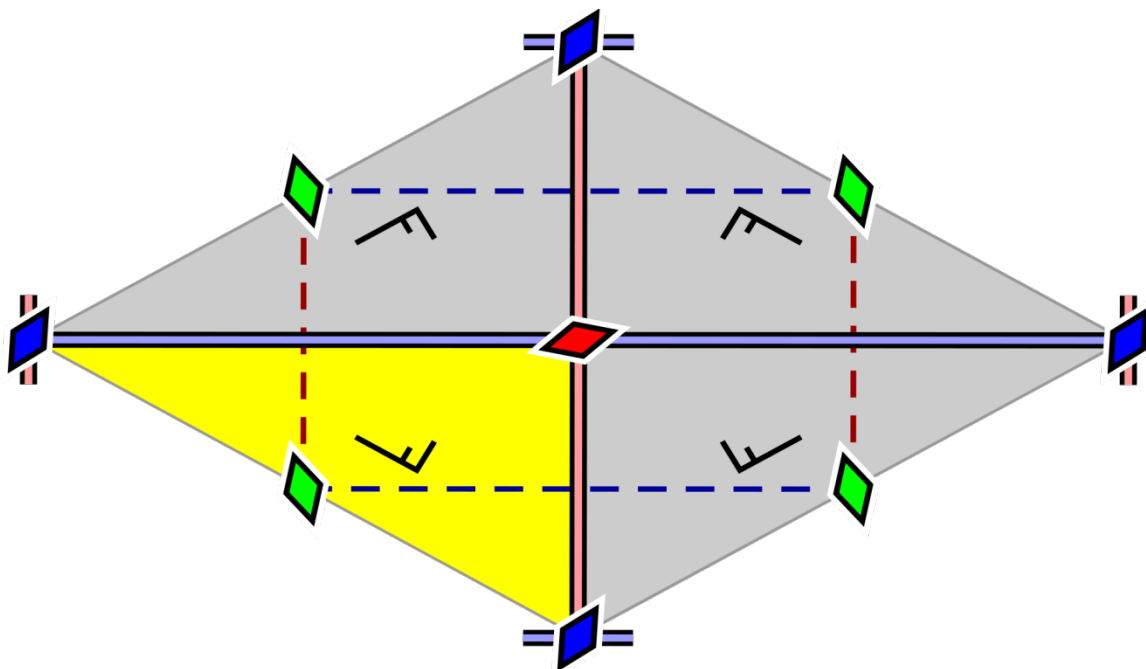
Obr. 21 Reálný vzor grupy symetrie pgg podle [11]

4.1.9 Grupa symetrie cm

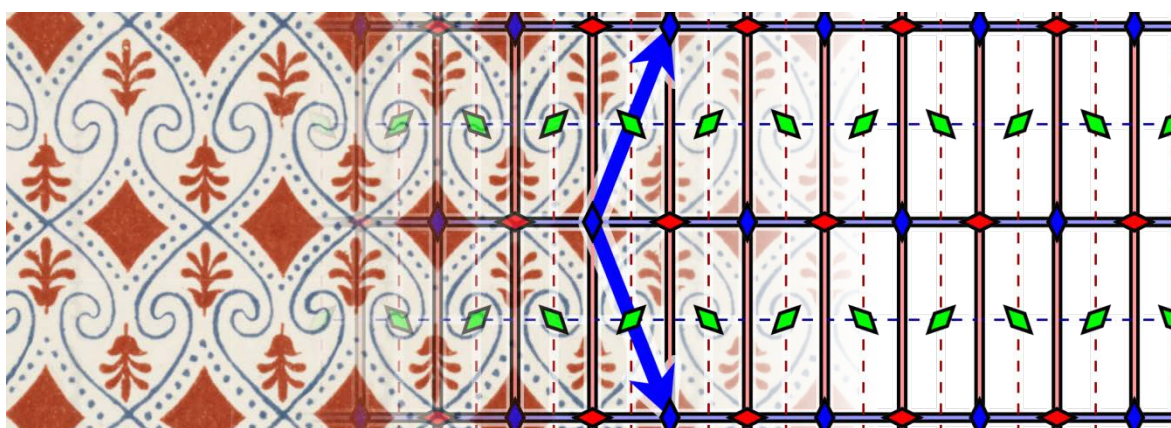
Grupa symetrie cm obsahuje dvě osy zrcadlové symetrie m , které jsou na sebe vzájemně kolmé a jejich křížení obsahuje centrum 2 – násobné rotace. Další centra 2 – násobné rotace neleží na osách zrcadlové symetrie.

Tvorba dvourozměrné tapety grupy symetrie cm je odvozena z různých vlastností mezi základního motivu procházející skrz centra 2 - násobné rotace. Dvě meze každého základního motivu jsou totiž zároveň osy zrcadlové symetrie. Vyskytují se na mezích a podélných osách základního motivu.

Základním tvarem motivu grupy symetrie cm je obdélník. Vzor je vytvořen pomocí center rotačních symetrií obsahující dvoustupňovou rotaci. Centra, která obsahují rotační symetrii, jsou na krajích a středu os zrcadlové symetrie m . Motiv je pomocí osy zrcadlové symetrie převeden do druhé poloviny vzoru. Následuje jednotlivá rotace pomocí center 2 - násobné rotace o 180 stupňů. V další operaci jsou opět použity osy zrcadlové symetrie. A konečně je motiv vzoru opět rotován o 180 stupňů a vzniká tím základní vzor. Základní motiv vzoru grupy symetrie cm je zobrazen na obrázku 22 a na obrázku 23 je reálný vzor.



Obr. 22 Grupa symetrie cmc podle [11]



Obr. 23 Reálný vzor grupy symetrie cmc podle [11]

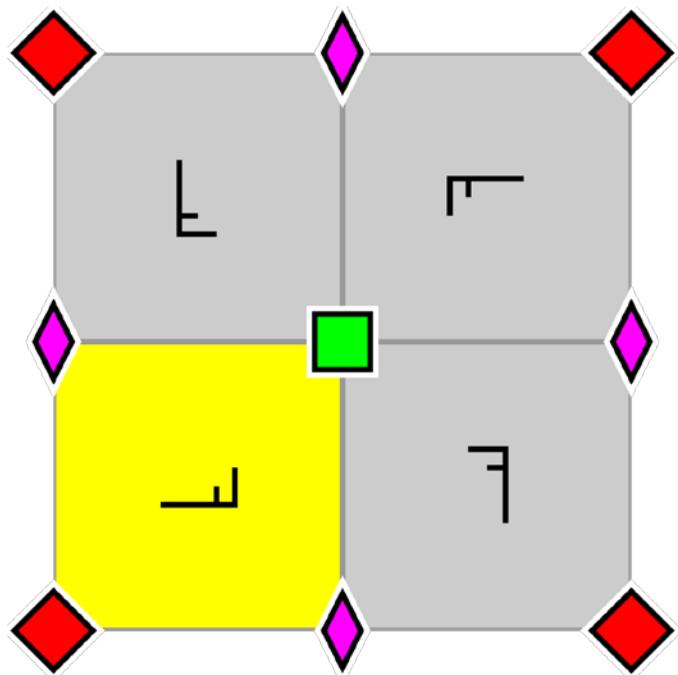
4.1.10 Grupa symetrie $p4$

Grupa symetrie $p4$ neobsahuje osy zrcadlové, nebo klouzavě zrcadlové symetrie. Grupa symetrie tohoto typu nevychází z žádné jednorozměrné tapety.

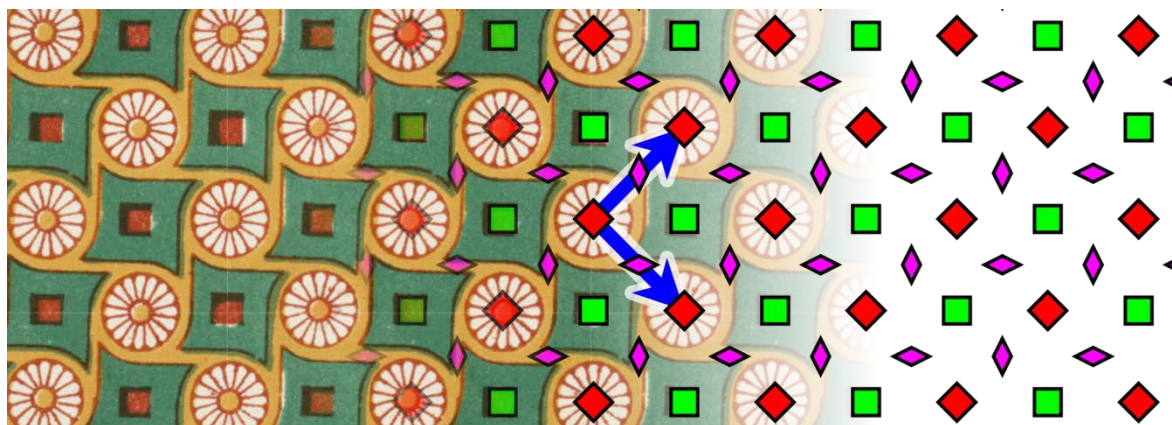
Konstrukce této grupy vyžaduje rozdělení na čtyři čtvercové plochy, které tvoří základní vzor. K vytvoření vzoru je použit centrální bod 4 – násobné rotace, okolo kterého je rotován motiv.

Pruh je vytvořen opakovaným posunutím ve směru $T1$. Horní mez pruhu je odstraněna a nahrazena směrem posunutí $T2$. Vzniká tak konečná dvourozměrná tapeta grupy $p4$.

Základním tvarem motivu grupy symetrie $p4$ je čtverec. Vzor je složen ze čtyř čtverců. Při skládání vzoru jsou použity centrální body 2 - násobné a 4 - násobné rotace. Motiv rotuje pomocí čtyřstupňového centra rotace pokaždé o 90 stupňů a tím vzniká vzor. Centra rotace se vyskytují na podélných osách a v rozích vzoru. Dokončením rotace je tvar základního vzoru čtverec, který je složen ze 4 čtverců, které se pravidelně opakují. Zobrazení základního vzoru a motivu grupy symetrie $p4$ je na obrázku 24 a na obrázku 25 je zobrazen reálný vzor.



Obr. 24 Grupa symetrie $p4$ podle [11]

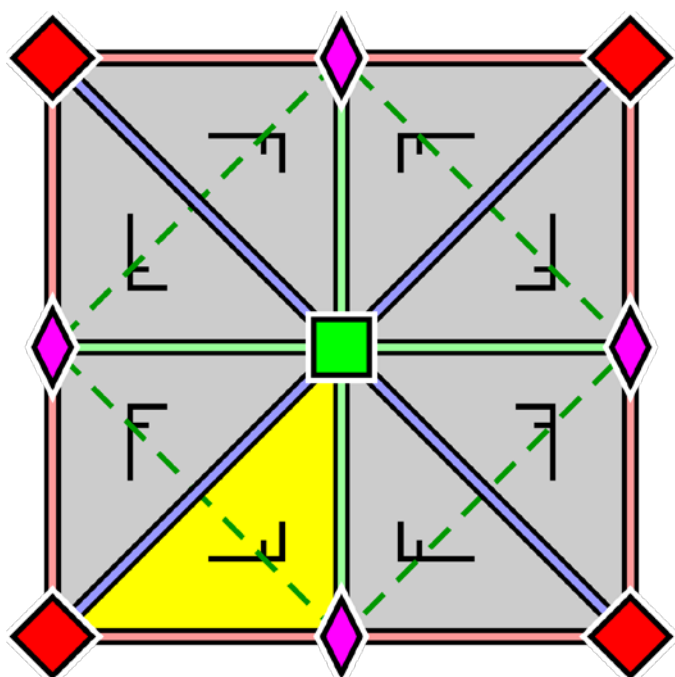


Obr. 25 Reálný vzor grupy symetrie $p4$ podle [11]

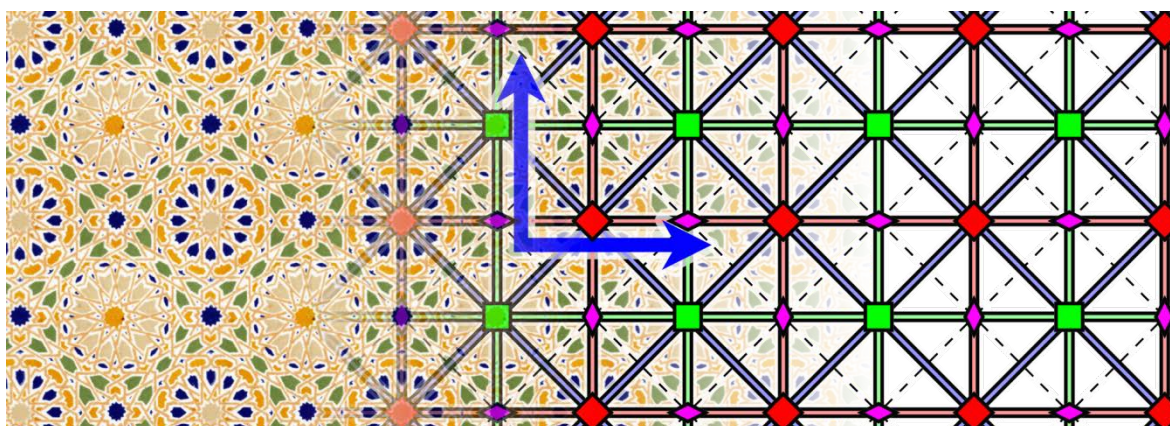
4.1.11 Grupa symetrie $p4m$

Konstrukce tapety grupy symetrie $p4m$ vzniká rozdělením každého základního vzoru na osm rovnoramenných trojúhelníků, jejichž všechny strany jsou zároveň osami zrcadlové symetrie m . Základní vzor také obsahuje centra 2 – násobné rotace a jedno centrum 4 – násobné rotace, které leží na průsečíku diagonál.

Aplikací zrcadlové symetrie m v diagonálním směru a použitím 4 - násobné rotace na motiv uvnitř rovnoramenného trojúhelníku vzniká základní vzor. Postupným posunutím směru posunutí $T1$ vzniká jednorozměrný pruh. Nahrazením horní meze směrem posunutí $T2$ vzniká dvourozměrná tapeta $p4m$. Základním motivem vzoru je rovnoramenný trojúhelník. Na obrázku 26 je zobrazen základní vzor grupy symetrie $p4m$ a v něm je tvar základního motivu. Na obrázku 27 je zobrazen reálný vzor grupy symetrie $p4m$.



Obr. 26 Grupa symetrie $p4m$ podle [11]

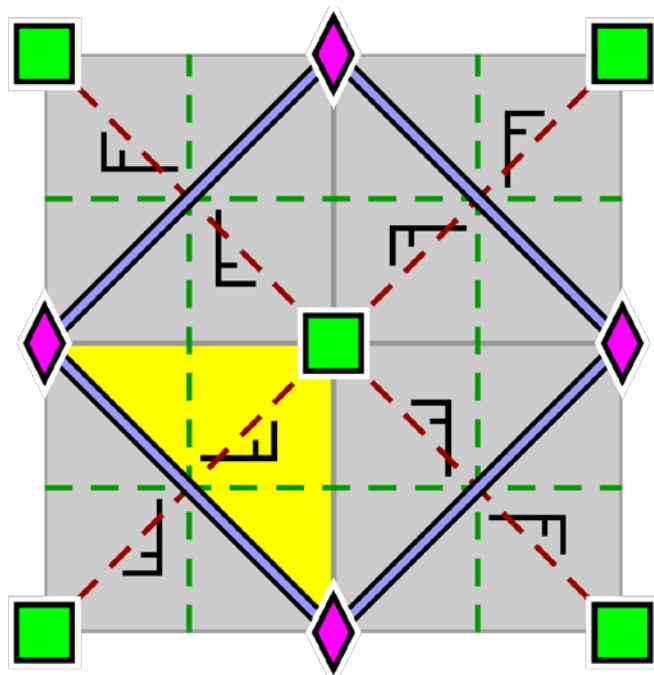


Obr. 27 Reálný vzor grupy symetrie $p4m$ podle [11]

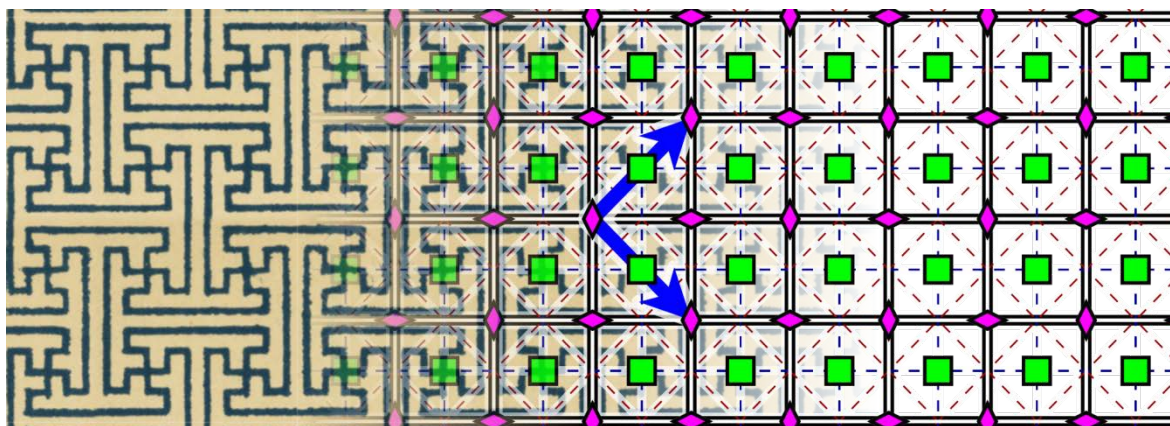
4.1.12 Grupa symetrie $p4g$

Základním tvarem motivu grupy symetrie $p4g$ je trojúhelník. Vzor se tvoří pomocí osmi rovnoramenných trojúhelníků. Na středu vzoru a na vrcholech vnitřního čtverce vzor obsahuje centrální body čtyřstupňové rotace. V rozích vzoru jsou také obsaženy centrální body dvoustupňové rotace. Osami zrcadlové symetrie m jsou hrany vnitřního čtverce. Nejprve jsou trojúhelníky podle svého rotačního bodu rotovány po 90 stupních. Poté vždy na jednu hranu základního motivu a motivu opakovaného ve vzoru spadají osy zrcadlové symetrie. Čtverec jako základní tvar vzoru vznikne použitím těchto os.

Odstraněním boční meze na vzniklý základní vzor je aplikován směr posunutí $T1$ a vzniká jednorozměrná tapeta. Odstraněním horní meze základního vzoru a aplikací směru posunutí $T2$ dojde k vytvoření dvourozměrné tapety. Na obrázku 28 je zobrazen základní tvar vzoru a motiv grupy symetrie $p4g$ a na obrázku 29 je reálný vzor.



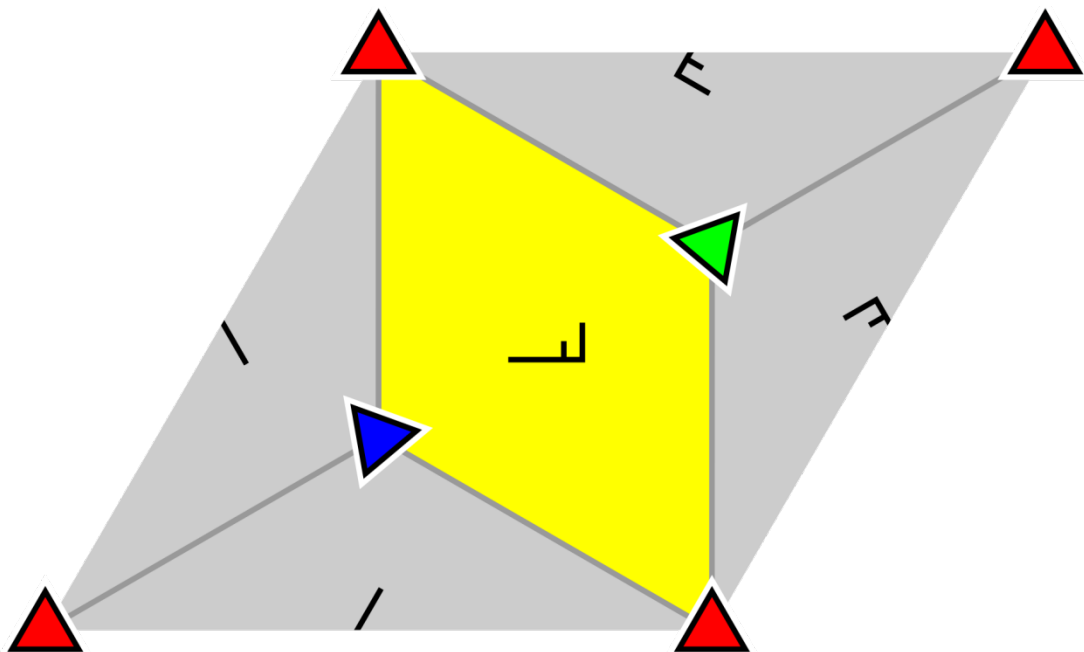
Obr. 28 Grupa symetrie $p4g$ podle [11]



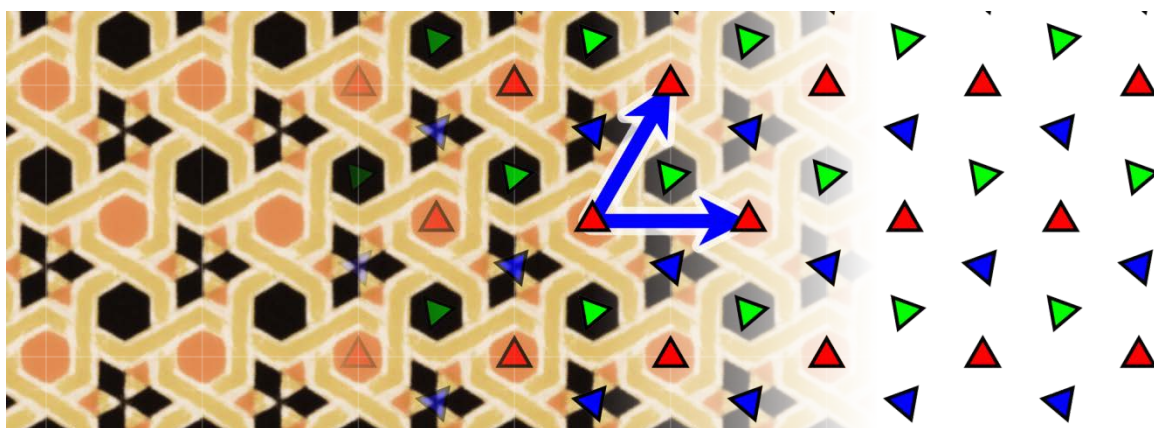
Obr. 29 Reálný vzor grupy symetrie $p4g$ podle [11]

4.1.13 Grupa symetrie $p3$

Základním motivem vzoru grupy symetrie $p3$ je kosočtverec. Na každý vrchol kosočtverce jsou umístěna centra 3 – násobné rotace. Motiv rotuje okolo bodu rotace o 120 stupňů. Odstraněním horní meze a aplikací zrcadlové symetrie na takto vytvořený vzor dojde ke vzniku jednorozměrné tapety o šířce $2W$. Horní mez dvojitého pruhu je opět nahrazena směrem posunutí $T3$. Na obrázku 30 je základní motiv grupy symetrie $p3$ a na obrázku 31 je reálný vzor.



Obr. 30 Grupa symetrie $p3$ podle [11]



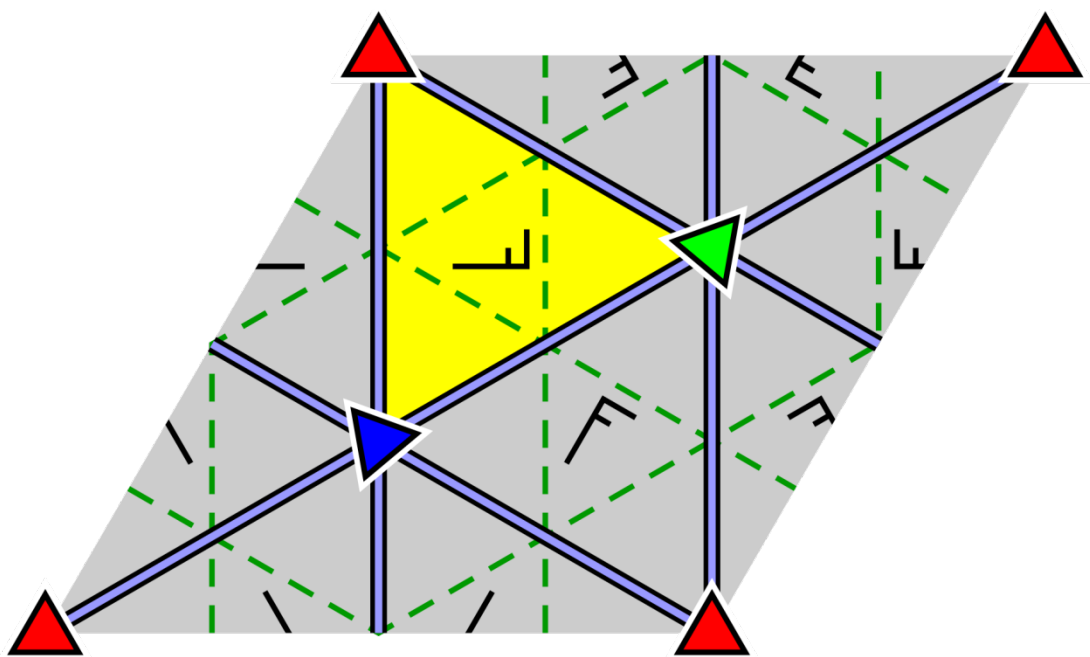
Obr. 31 Reálný vzor grupy symetrie $p3$ podle [11]

4.1.14 Grupa symetrie $p3m1$

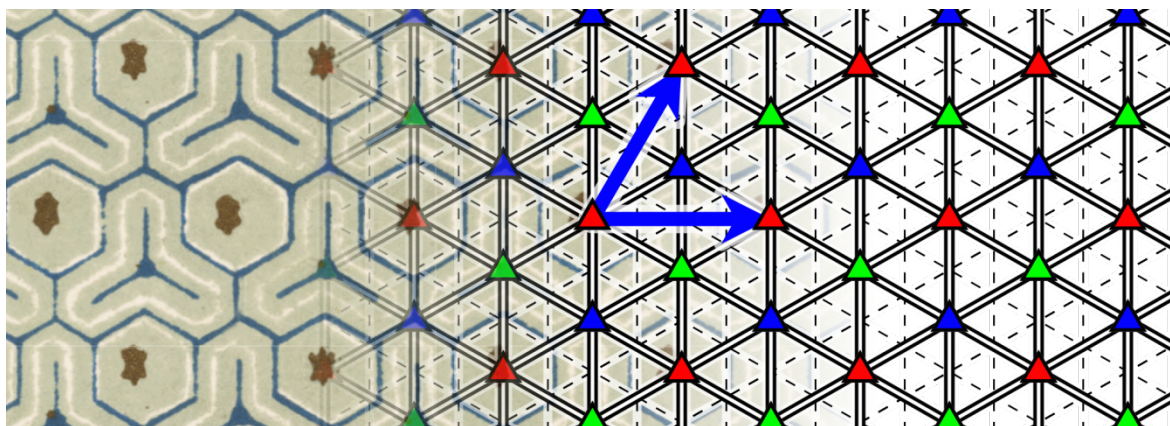
Základním prvkem vzoru je kosočtverec. Přidáním diagonály vzniká rovnostranný trojúhelník. Vzor obsahuje centrální body třístupňové rotační symetrie. Osou zrcadlové symetrie m je zároveň každá strana trojúhelníku. Centrální body určující stupeň rotace leží na osách zrcadlové symetrie m . Motiv je pomocí osy zrcadlové symetrie přenesen

na vedlejší trojúhelník. Motiv je postupně přenesen na celý základní vzor pomocí třístupňové rotace o 120 stupňů.

Odstraněním horní meze vzoru a nahrazením této hranice osou zrcadlové symetrie m vznikne pruh o šířce $2W$. Potom je odstraněna horní mez pruhu o šířce $2W$ a nahrazena směrem posunutí T_3 . Aplikace pravidelného směru posunutí T_3 za sebou formuje konečnou podobu dvourozměrné tapety grupy symetrie $p3m1$. Na obrázku 32 je zobrazen základní motiv vzoru grupy symetrie $p3m1$ a na obrázku 33 je zobrazen reálný vzor.



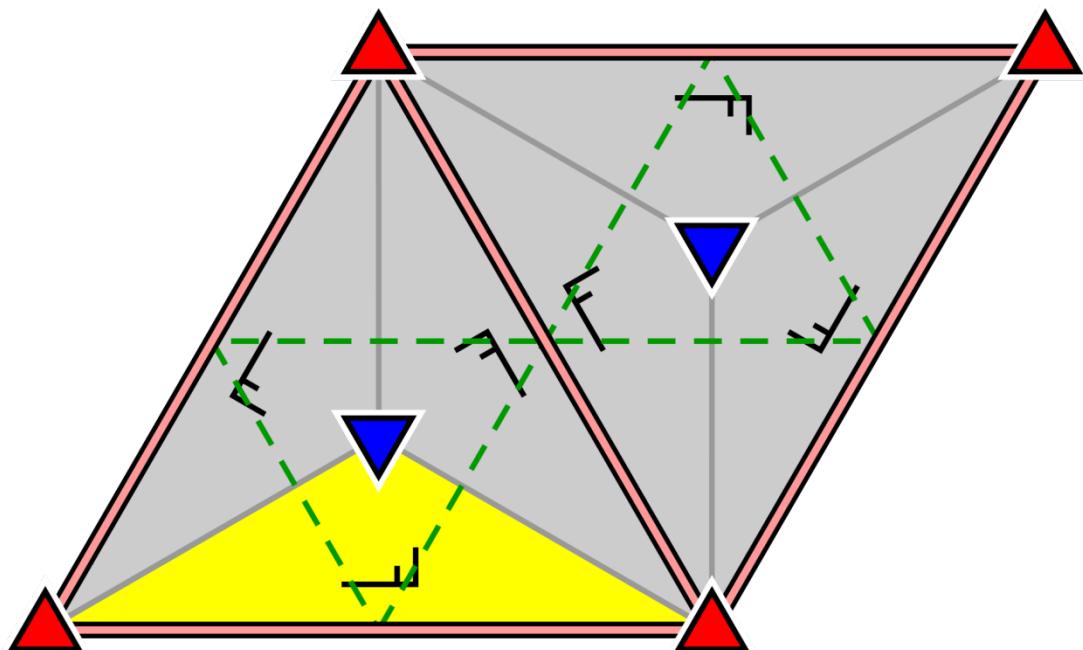
Obr. 32 Grupa symetrie $p3m1$ podle [11]

Obr. 33 Reálný vzor grupy symetrie $p3m1$ podle [11]

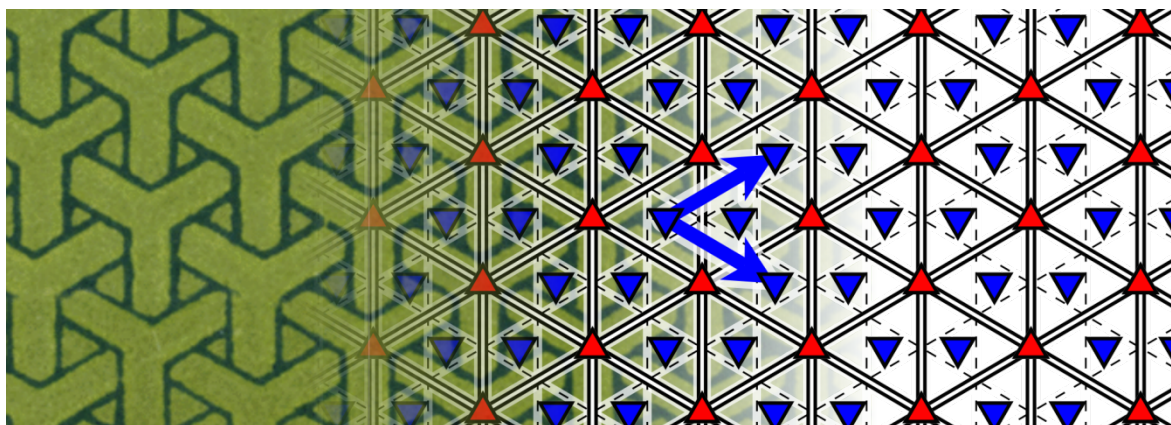
4.1.15 Grupa symetrie $p31m$

V grupě symetrie $p31m$ je základním tvarem kosočtverec, který je diagonálně rozdělen osou zrcadlové symetrie m na dva rovnostranné trojúhelníky. Vzor obsahuje centrální body, které jsou body 3 - násobné rotace, okolo kterých je rotován motiv. Okraje vzoru jsou osami zrcadlové symetrie m . Tvorba základního vzoru probíhá tak, že pruh je nejprve dělen na kosočtverce a potom je půlen na základní prvky přidáním diagonál do každého prvku. Diagonály tvoří rovnostranné trojúhelníky, jejichž meze jsou zároveň osami zrcadlové symetrie m a které jsou fixované.

Při tvorbě této dvourozměrné tapety je postupováno tak, že nejdříve se boční mez základní buňky nahradí směrem posunutí $T1$. Vzniká tak pruh jednorozměrné tapety. Aplikováním osy zrcadlové symetrie m na pruh vznikne nové obložení pruhu o šířce $2W$. Jedna horní mez pruhu o šířce $2W$ je vyjmuta a nahrazena směrem posunutí $T3$. Nakonec je směr posunutí $T3$ použit k nahrazení horních mezí v určitých intervalech a vzniká tak dvourozměrná tapeta grupy symetrie $p31m$. Na obrázku 34 je zobrazen základní vzor a motiv grupy symetrie $p31m$ a na obrázku 35 je reálný vzor.



Obr. 34 Grupa symetrie $p31m$ podle [11]

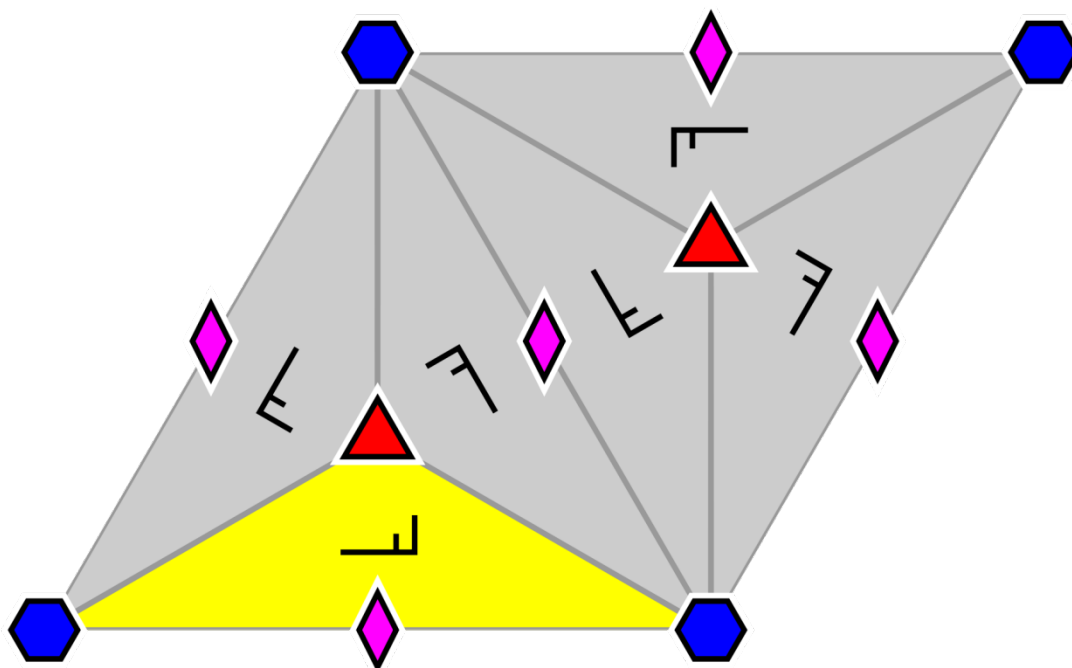


Obr. 35 Reálný vzor grupy symetrie $p31m$ podle [11]

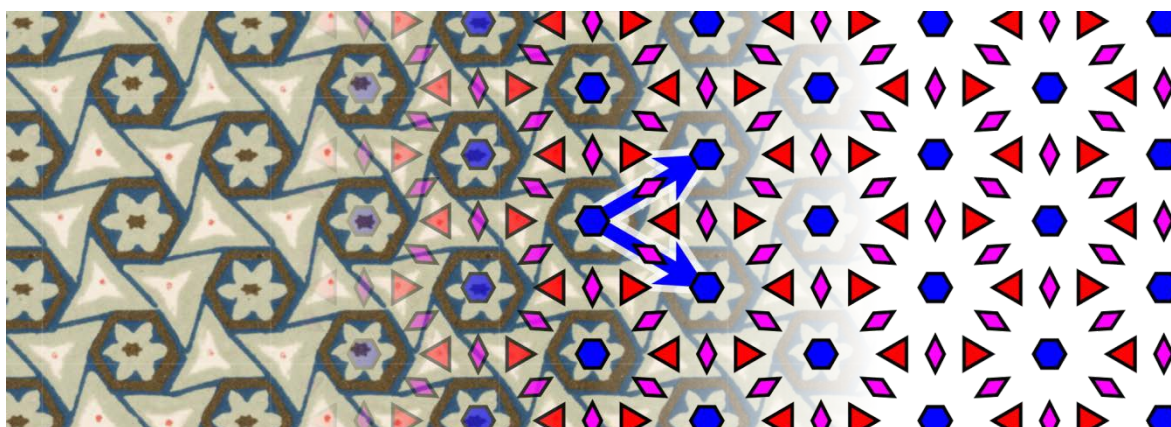
4.1.16 Grupa symetrie $p6$

Grupa symetrie $p6$ má jako základní tvar motivu kosočtverec. Ve vzoru je obsaženo několik druhů centrálních bodů rotace. Vzor obsahuje centra 6 - násobné rotace, centra 3 - násobné a centra 2 - násobné rotace. Základní vzor je tvořen pomocí 3 - násobné rotace a motiv je rotován o 120 stupňů. Motiv je v krajích základní buňky rotován za pomoci 2 - násobné rotace o 180 stupňů.

Aplikací směru posunutí $T1$ na základní buňku, vznikne jednorozměrná tapeta o šířce W . Následným nahrazením horní meze pruhu osou zrcadlové symetrie m , vznikne dvourozměrná tapeta o šířce $2W$. Nakonec je horní mez dvojitého pruhu vyjmuta a nahrazena směrem posunutí $T3$. Na obrázku 36 je základní vzor s motivem grupy symetrie $p6$ a na obrázku 37 je reálný vzor.



Obr. 36 Grupa symetrie $p6$ podle [11]

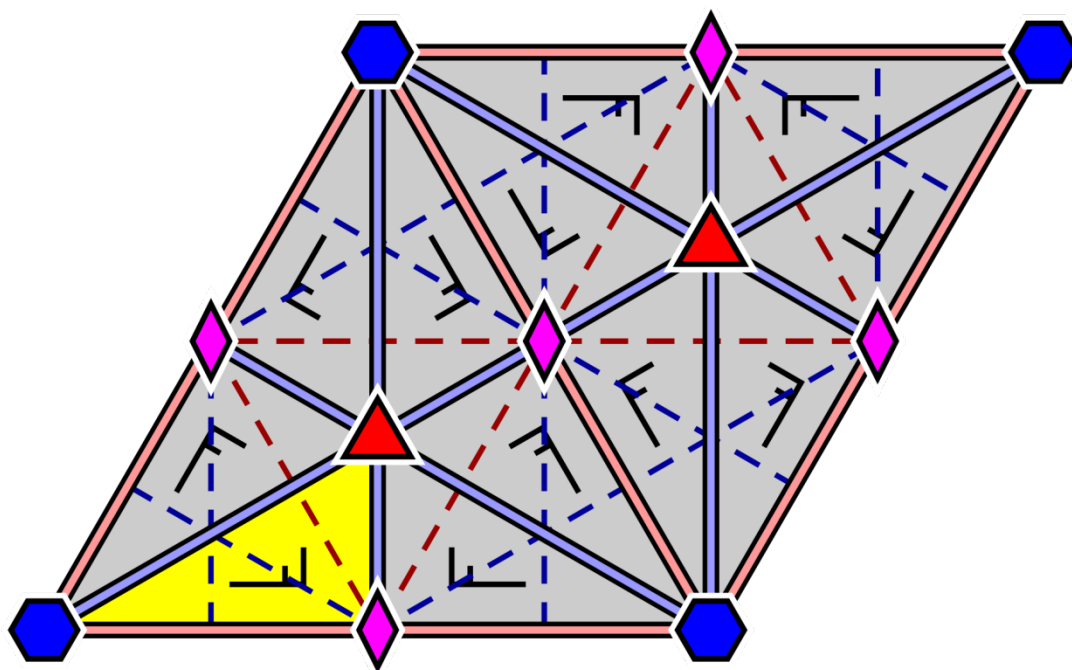


Obr. 37 Reálný vzor grupy symetrie $p6$ podle [11]

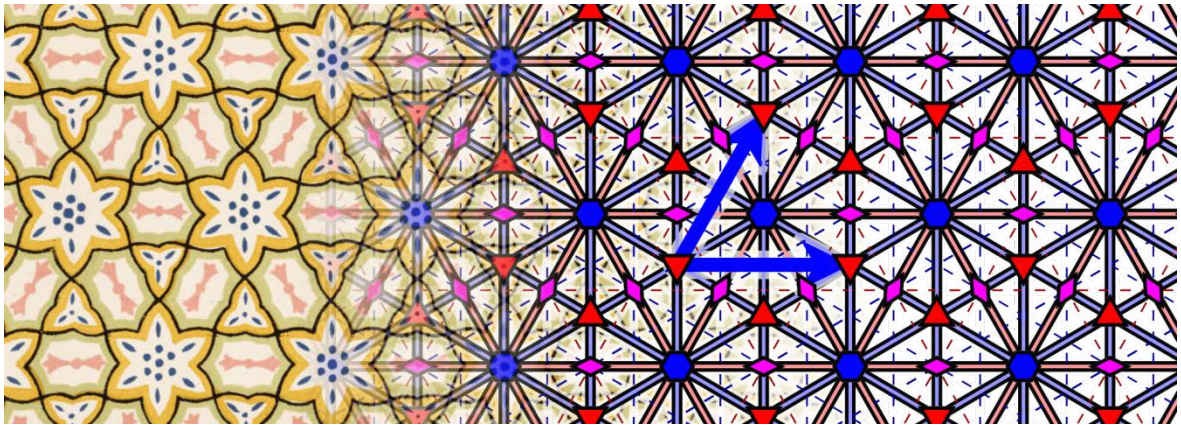
4.1.17 Grupa symetrie $p6m$

Tvarem základního vzoru je kosočtverec. Ve vzoru jsou obsaženy centrální body 6 – násobné, 3 – násobné a 2 – násobné rotace. Součástí vzoru jsou také osy zrcadlové symetrie m . Ke tvorbě vzoru dochází rozdělením buňky na kosočtverce, které jsou děleny pomocí diagonál na pravoúhlé trojúhelníky, jejichž strany jsou osami zrcadlové symetrie m . Mezi jednotlivými trojúhelníky je motiv předáván pomocí os zrcadlové symetrie m . Prostřednictvím rotačních bodů je motiv rotován do ostatních částí základní buňky.

Použitím směru posunutí $T1$ vznikne pruh o šířce W . Místo horní meze pruhu o šířce W je použita osa zrcadlové symetrie m . Osa zrcadlové symetrie je využita k vytvoření pruhu tapety o šířce $2W$. Potom je jedna mez pruhu o šířce $2W$ nahrazena směrem posunutí $T3$. Symetrie je potom aplikována na každý nový pruh o šířce $2W$. Dochází tak k tvorbě dvourozměrné tapety grupy symetrie $p6m$. na obrázku 38 je zobrazen základní vzor a motiv grupy symetrie $p6m$ a na obrázku 39 je zobrazen reálný vzor.



Obr. 38 Grupa symetrie $p6m$ podle [11]



Obr. 39 Reálný vzor grupy symetrie $p6m$ podle [11]

5. METODY DETEKCE VAD PRO $P1$ GRUPU

Podle práce [1] do kategorie metod, které nejsou založeny na motivu, patří těchto šest přístupů:

1. Statistický přístup
2. Spektrální přístup
3. Přístup založený na modelu
4. Učící přístup
5. Strukturální přístup
6. Hybridní přístup

5.1 Statistický přístup

Statistický přístup charakterizuje prostorové rozdělení úrovně šedé, které může být definováno různými vyjádřeními např. funkcí autokorelace, maticí vzájemných šedotónových závislostí a fraktální dimenzí.

5.1.1 Autokorelační funkce

Podstatou metody založené na autokorelační funkci (AF) je, že je založena na měření prostorové frekvence. Na více místech zjišťuje maxima, která odpovídají délce, nebo šířce, které se opakují v základním snímku. Na texturách plátnové a keprové vazby

pomáhá určit jak dokonale je replikace opakována. Autokorelační funkce vypočítává délku periody vzoru na vrcholech plotu a vypočítává pravidelnost postupu. Nedostatek autokorelační funkce však spočívá v nedostatečné detekci jemné textury a nedokáže analyzovat texturu bez referenčního rámce tónového základu.

5.1.2 Matice vzájemných šedotónových závislostí

Matice vzájemných šedotónových závislostí (GLCM) charakterizuje vlastnosti textur jako druhý pořádek statistik, měřením 2D prostorové závislosti hodnocení šedé pro stanovenou délku a ohraničený prostorový vztah. Prostorové vlastnosti GLCM jsou vyšší než AF, protože pravděpodobnost matice vzájemných šedotónových závislostí může získat více informací v jedné prostorové vzdálenosti, která je měřena v oblasti dvou pixelů. Tato metoda neposkytuje dostatečný výkon v texturách velkých velikostí. Další nevýhodou této metody je značná náročnost na výpočetní techniku vzhledem k výpočtu velkého počtu sousednosti pixelů.

5.1.3 Matematická morfologie

Použití matematické morfologie je založeno na získávání vhodných obrazových součástí. Vhodné součásti obrazu získává pro geometrické znázornění a pro popis okrajových tvarů. Používá techniky jako je eroze a dilatace, které využívá pro vyhlazení, zaostření a odstranění šumu. Míra úspěchu detekce pro tuto metodu není dostatečná. Navržený morfologický filtr se ukázal být optimální, protože tato metoda dosáhla přesnosti detekce 97,4% a 94,87% [1]. Bylo použito 78 snímků, z nichž 39 snímků bylo bez vad a dalších 39 snímků bylo s vadami. Snímky obsahovaly různé defekty, byly různého rozlišení a textury měly různé pozadí. Pozitivní výsledky se zdály být uspokojivé, ale nebyly zkoušeny pro ostatní skupiny tapet.

Když byla matematická morfologie porovnávána se statistickým přístupem, bylo dosaženo úrovně detekce 90,41% [1]. Statistický přístup však dosáhl úrovně detekce 95,89%. Klady a zápory metody jsou: citlivost k velikosti a tvaru vady, lepší členění díky efektu shlukování a odstranění šumu, více lokalizovaný, je vhodnější pro textury s více směry. Nedostatkem je, že nejsou založeny na jedné vizuální koncepci.

5.1.4 Fraktální metoda

Fraktály jsou používány pro textury k modelování drsnosti a vlastnost samopodobnosti přírodních povrchů.

Další významnou metodou je fraktální analýza obrazu, která používá box-counting způsob. Úroveň detekce dosáhla přesnosti 96% [1].

5.2 Spektrální přístup

V tomto oddílu je krátce popsán spektrální přístup pro detekci vad tkanin. Spektrální přístup obsahuje tyto metody: Fourierovu transformaci, vlnkovou transformaci, Gaborovu transformaci a filtrování.

5.2.1 Fourierova transformace

Fourierova transformace (FT) je metodou odvozenou z Fourierovy řady. Prostorová oblast je citlivá na šum a vady jsou obtížně vyhledány, zatímco Fourierova transformace používá frekvenční oblast pro charakteristiku vad. Optická Fourierova transformace byla doporučena k detekci a identifikaci vad přímo na tkalcovském stavu. Touto metodou by se pravidelně opakující vzor objevil jako dvě řady vrcholů s horizontálními a vertikálními místy. Tato místa jsou závislá na prostorových frekvencích 2D mřížky, které odpovídají texturám útku a osnovy. Metoda je však značně citlivá na vibrace tkalcovského stavu a elektrické rušení okolních strojů.

5.2.2 Vlnková transformace

Vlnkové transformace (WT) jsou založeny na malých vlnách různé frekvence omezeného trvání, které se nazývají vlnky. Vlnková transformace získává lokální informace horizontálních, vertikálních a diagonálních směrů. U detekce vad plátňových a keprových tkanin se vlnková transformace používá pro získání vlastností. Postup vlnkové transformace obsahuje: "Fuzzy" vlnkovou analýzu, víceškálovou vlnkovou metodu, WT obnovení programu a adaptivní výběr úrovně programu k analýze CM z přibližných podsímků.

Úroveň úspěchu detekce těchto metod dosahovala 98% - 100% [1]. Hlavní nevýhodou těchto metod však bylo, že počet testovaných vzorků nebyl dostatečný k potvrzení jejich spolehlivosti.

5.2.3 Gaborova transformace

Gaborova transformace (GT) je speciálním případem Fourierovy transformace. Gaborova transformace je metodou využívající tvar okna Gaussovy funkce. Gaborův filtr se pokouší spojit optimální lokalizaci v prostorové a prostorově frekvenční oblasti. K tomu slouží široká řada různých sad filtrů. Filtry mají předurčené parametry ve smyslu frekvence a orientace k účinnému pokrytí frekvenční úrovně.

5.2.4 Přístup filtrování

V mnoha aplikacích se používá filtrování k získání vylepšeného snímku. Jsou známy dva druhy filtračních metod: frekvenční oblast filtrování založené na Fourierově transformaci a prostorová filtrace založená na přímé práci s pixely snímku. Obě dvě metody jsou však citlivé na šum obsažený ve snímku.

5.3. Přístup založený na modelu

Náhodné pole snímku je stochastické modelování (SM) jednoduché funkce řady náhodných proměnných. Stochastické modelování může být při zpracování snímku rozděleno do tří kategorií: kovariance, model 1D a model 2D.

5.3.1 Autoregresní model

Autoregresivní model (AR) využívá lineární závislost mezi rozdíly pixelů textury snímku. Autoregresivní model je snadno ovlivnitelný osvětlením a je rozhodujícím pro nastavení AR metody. Tento model je také citlivý na velmi malé šírky vad s ohledem na podobnost mezi vadami a pozadím. Z pohledu rychlosti je tento model výpočetně rychlý a účinný. Nebyly však prezentovány žádné výsledky.

5.3.2 Markova náhodná pole

Metoda Markových náhodných polí (MRF) může být použita v mnoha oblastech zpracování obrazu, jako např.: segmentace textur a klasifikace. Metoda může

kombinovat statistické a strukturální informace při rozpoznávání obrazu. Principem je, že intenzita pixelu ve snímku závisí pouze na sousedních pixelech. Metoda MRF zachycuje na snímku lokální souvislé prostorové informace, ale není spolehlivá při identifikaci malých vad na textiliích.

5.4 Učící přístup

Do kategorie učícího přístupu (learning approach) patří především metoda neuronové sítě (neural network).

5.4.1 Neuronová síť

Neuronová síť (NN) používá organizační principy (učení nebo zevšeobecnění) a může vykonat mnoho úkolů jako je získání vlastností, segmentaci a optimalizaci. Jejím nedostatkem je "black-box" charakter, těžkosti ve zvládnutí nadbytku vlastností a průvodní změny ve škále, pozici a orientaci.

5.5 Strukturální přístup

Strukturální přístup (SA) je metodou považující texturu jako texturu, která je složená z jednotlivých základních textur. Textura je, podle určitých pravidel umístění, opakováním základu. Strukturální analýza textury je složená převážně ze dvou kroků: vytváření základů textury a odvození pořadí umístění. Metoda strukturálního postupu je často kritizovaná, že je použitelná pouze na velmi pravidelných texturách.

Dvě hlavní nevýhody konstrukčních vad textur jsou: není možné vyladit algoritmus vůči jednotlivé geometrii vady a je nepoužitelná na struktury nízkých pravidelností, nebo nepoužitelná na vady menší než je okno odpovídající druhé periodě délky struktury vzoru.

5.6 Hybridní přístup pro další tapetové grupy

Pro ostatních šestnáct tapetových grup nebylo publikováno tolik metod, jako pro *pl* grupu. Nejpoužívanější vzorovanou texturou, použitou k výzkumu, byla krajka a žakárové tkaniny. Hlavní metody, které jsou používány pro ostatní *wallpaper* grupy jsou: postup vhodné šablony a statistický a spektrální přístup. Méně užívanou metodou

můžeme nazvat: metoda osvětlení blízké infračervenému světlu (NIR), které používá k osvětlení místa, místo světla viditelného spektra. Metoda získává snímky v momentě, kdy je osvětlení ve viditelném spektru vypnuto a diody emitující NIR jsou zapnuty. Snímač mohl zachytit odrazový rozptyl NIR světla od tkanin. Ve viditelném spektru světla nebyly obvykle vady rozpoznány. Metoda však nebyla schopna prokázat svoji spolehlivost pro některou z ostatních wallpaper grup.

5.6.1 Přístup vhodné šablony

Postup vhodné šablony je metodou založenou na odečítání snímku (TIS). Tato metoda je používanou při kontrole kvality tištěných spojů. Metoda TIS odečte test snímku z dokonalého snímku. Je však potřeba aby snímek byl na vstupu přesně zarovnan. Bylo navrženo, aby se metoda TIS použila pro detekci vad na krajkách, ale výsledky ukázaly, že metoda je velmi citlivá na šum ve snímku. Kromě šumu ve snímku byla metoda také citlivá na zarovnání obrazu.

5.6.2 Statistický a spektrální přístup

Pod tuto kategorii se může zařadit mnoho metod. Analýza matice vzájemných šedotónových závislostí byla použita ke zjištění vzájemného vztahu analyzovaných faktorů mezi vybranými vlastnostmi a náhodném pořadí faktorů.

Metoda "Hash" funkce používá offset vlastnosti mezi texturami bez vady a texturami šablonového vzoru. Metoda byla citlivá na malé změny vzoru. Nebyl zjištěn přesný výsledek detekce vad. Test této metody dopadl špatně.

Metoda "Bollinger Bands" (BB), která byla původně určená pro technickou finanční analýzu, je založena na pohyblivém průměru a standardní odchylce. Tato metoda byla rozšířena z 1D do 2D postupu a aplikovaná pro detekci vad žakárových tkanin. Byla prokázána vysoká úroveň detekce vad u tří grup symetrií (pmm, p2 a p4m). U této techniky je předností její výpočetní rychlost. Naopak nedostatkem je, že metoda není spolehlivá při detekci vad s nepatrnými barevnými rozdíly textur.

Metoda "Regular Bands" (RB) byla vyvinuta jako analýza pravidelnosti pro kontrolu vzorované textury. Zachycená změna v pravidelnosti je považována za vadu. Na rozdíl

od metody BB metoda RB byla citlivější k detekci malých vad, jednodušší při zavádění a požadované znalosti délky periody opakovaného vzoru.

6. METODY ZALOŽENÉ NA MOTIVECH

V posledních letech byla vyvinuta metoda všeobecné detekce vad motivů pro 16 ze 17 tapetových grup.

Pro $p1$ grupu není vhodné použití l_1 normy. Protože $p1$ grupa obsahuje pouze jeden motiv, tak použití konstrukce s l_1 normou není vhodné, neboť vyžaduje alespoň 2 různé motivy ve vzoru. Tudíž nemá smysl o grupě $p1$ dále diskutovat.

Pokud bude uvažován design experimentu založený na rozptylu a energii l_1 normy mezi dvěma motivy v mříži, tak v práci [3] byly navrženy ve dvourozměrném prostoru, kde první složka vektoru je energie a druhá složka je rozptyl, rozhodovací pravidla založená na minimu a maximu pro zjištěné energie a rozptyly. Tato navržená metoda je použitelná pro velký počet tapetových grup a je relativně spolehlivější, než všechny ostatní publikované přístupy.

Metoda byla v práci [8] rozpracována na eliptická rozhodovací pravidla, aby bylo možné odlišit takzvané "fals alarmy". V práci je také ukázána možnost optimalizace této metody a načrtnuta cesta pro její další rozšíření.

7. KLASIFIKACE GRUP SYMETRIE

Pro pravidelně se opakující vzor může být nalezen algoritmus, podle kterého se určí grupa symetrie, do které je vzor zařazen. Izometrie dvourozměrného vzoru je zobrazení zachovávající vzdálenost jako např. posun, rotace, nebo zrcadlové zobrazení. Platí tak $g: \mathbb{R}^2 \times I \rightarrow \mathbb{R}^2 \times I$ a $g(P) = P$, kde I je hodnotou úrovně šedi v intervalu $[0;255]$.

7.1 Dvourozměrné tapety

Jak již bylo zmíněno v práci [1], dvourozměrná tapeta znamená pravidelně se opakující vzor ve dvou směrech, které jsou lineárně nezávislé. Takto se opakující vzor je rozšířen ve 2D rovině. Pro vytvoření základní struktury mříže, je nutný nejmenší nezávislý lineární posun vektory T_1 a T_2 . Takto je obraz rozdělen do shodných podobrazů ve tvaru rovnoběžníků, které jsou nazývány jednotky mříže, či dlaždice.

7.2 Algoritmus pro klasifikaci grup symetrie

Podle algoritmu vytvořeného v práci [7] lze přiřadit grupu symetrie danému dvourozměrnému vzoru. Ověřování grupy symetrie se provádí na malé množině rotací a reflexních symetrií. Algoritmus k určení grupy symetrie je robustní s ohledem na přítomnost mírného množství šumu a odlehlých pozorování.

V tabulce 2 je uveden sled jednotlivých kroků vedoucích k určení jednotlivých grup symetrie. Čísla 180, 120, 90 a 60 znamenají stupně rotace, písmena T_1 a T_2 znamenají rovnoběžné hranice jednotky mříže, písmeny D_1 a D_2 jsou označeny diagonální vektory. Písmeno Y značí, že daný parametr pro danou symetrii platí, písmeno $Y(g)$ označuje přítomnost klouzavě zrcadlové symetrie. Prázdné pole označuje, že hledaný parametr nebyl nalezen.

Tabulka 2 Rozpoznávací algoritmus k určení grup symetrie podle [7]

	180	120	90	60	T ₁	T ₂	D ₁	D ₂
p1								
p2	Y							
pm					Y			
pg					Y(g)			
cm							Y	
pmm	Y				Y	Y		
pmg	Y				Y(g)	Y		
pgg	Y				Y(g)	Y(g)		
cmm	Y						Y	Y
p4	Y		Y					
p4m	Y		Y		Y	Y	Y	Y
p4g	Y		Y		Y(g)	Y(g)	Y	Y
p3		Y						
p3m1		Y				Y	Y	
p31m		Y			Y		Y	
p6	Y	Y		Y				
p6m	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y

Vstup: na vstupu je obraz vzorované tapety.

Výstup: výstupem je určená grupa symetrie na vstupním periodickém vzoru.

Jednotlivé kroky k určení algoritmu:

1. Nalezení mříže vzoru.
2. Odhad mediánové dlaždice a modelu šumu. Uvažujme výběr dlaždic ze vstupního obrazu tapety. Jedna dlaždice je vybrána jako referenční a pro ostatní dlaždice je zjištěn součet čtverců odchylek od této referenční dlaždice. Takto je získána množina odpovídajících intenzit pro každý pixel v dlaždici. Každému pixelu v dlaždici je přiřazen medián intenzity. Úroveň šumu v pixelu je odhadnuta pomocí standardní směrodatné odchylky σ reziduí mezi všemi pixely a jejich hodnotami v mediánové dlaždici.
3. Test symetrie. Pro zjištění přítomnosti rotace a zrcadlové symetrie na vzoru je potřebné udělat následující kroky:
 - a) Pro potvrzení symetrie a získání transformovaného obrazu I' je potřeba aplikovat nějakou izometrii (např. rotaci o 180 stupňů) na základní obraz.
 - b) Korelace mediánové dlaždice s transformovaným obrazem I' .
 - c) Začíná se v bodě s nejvyšší hodnotou korelace a hledá se takové posunutí, které vede k překrytí mediánové dlaždice s transformovaným obrazem I' , které minimalizuje součet čtverců odchylek.
 - d) Na pozici nejlepšího překrytí je vypočítána useknutá normalizovaná reziduální chyba pomocí vzorce

$$d = \sum_{k=1}^{N'} e_k^2 = \sum_{k=1}^{N'} \frac{(m_k - i_k)^2}{\sigma^2}, \quad (4)$$

kde N udává celkový počet pixelů na dlaždici, $N' = (1 - b) N$ je menší počet pixelů určených podle b , což je podíl pixelů, které jsou useknuté. Podíl useknutí je procento pixelů vyřazených od konce pořadí chyby e_k , jestliže e_k je seřazeno vzestupně (pixely s vyšší hodnotou šumu jsou na horních místech řady). Hodnoty m_k a i_k jsou intenzity pixelů odpovídající mediánové

dlaždicí a transformovanému obrazu I' . Symbol σ označuje standardní odchylku šumu pixelu.

- e) Opakování výpočtu useknuté normalizované reziduální chyby d_i sousedních mřížových bodech a udržení hodnoty chyby na $d_{med} = \text{median} \{d_i\}$, který je hodnotou mediánu mezi všemi vypočtenými chybami. Tento krok je prevence proti náhodnému přijetí správného zarovnání mezi mediánovou dlaždicí a posunutým obrazem jako důkaz přítomnosti symetrie. Vlastnost symetrie musí zachovávat původní mřížovou strukturu obrazu.
 - f) Je-li předpokládáno, že hodnoty pixelu jsou ovlivněny nezávislým Gaussovým šumem se střední hodnotou 0 a standardní odchylkou σ , pak by se hodnota d_{med} měla řídit rozdělením $\chi^2(N')$, kde N' označuje stupně volnosti. K určení přítomnosti symetrie se provede porovnání d_{med} k prahu t_0 , kde hodnota t_0 je stanovena ze vztahu $\int_0^{t_0} \chi^2_{N'}(x) dx = 0,99$. Symetrie je potvrzena v případě, že platí: $d_{med} < t_0$, jinak je přítomnost symetrie zamítnuta.
 - g) Pokud je podle předchozích kroků potvrzena symetrie, je nutné dále určit, zda se nejedná o klouzavě zrcadlovou symetrii. Provedením posouzení vyrovnaní z oblasti nejlepší shody mezi mediánovou dlaždicí a posunutým obrazem I' . Vyrovnaní by mělo být přibližně celočíselným násobkem jednoho z vektorů mříže, jestliže je nalezena shodná zrcadlová symetrie. Pokud však vyrovnaní spadá přibližně do poloviny celočíselných násobků je možno uvést, že se jedná o klouzavě zrcadlovou symetrii.
4. Klasifikace grupy symetrie. Porovnáním výsledků testu symetrie s tabulkou symetrií č. dojde k ověření správné klasifikace grupy symetrie daného vzoru.

8. KLASIFIKACE ZOBRAZENÍ VAD

Jedna z metod navržená v práci [3], která je vhodná pro kontrolu jakosti vzorovaných tkanin je metoda nazvaná *Exclusive-Or (XOR)*. Metoda *XOR* je vlastně metodou založenou na l_1 normě. Hodnota l_1 normy výsledného obrazu by měla být 0, jestliže je nezkreslená mříž neobsahující vadu odečtena ze správně zarovnané referenční mříže. Pokud však výsledek nabývá jinou hodnotu než 0, jedná se o identifikaci vady. Avšak mříž zpravidla nebývá úplně správně zarovnána na určeném vzoru. Mříž tak může být nepatrně zkreslená. Může to být způsobeno zejména pružností zkoumané tkaniny. V takovém případě operace *XOR* nedosahuje tak uspokojivých výsledků, jak by to bylo potřebné. Obvykle ale můžeme jen zřídka dosáhnout přesného rozdílu obrazu mezi vstupní mříží a referenční mříží při detekci vad tkanin v reálném čase. Je proto přínosné preferovat metody, které připouštějí menší odchylky ve zkreslení a zarovnání. Metoda cyklických operací nezohledňuje prostorové vztahy mezi pixely a není tak citlivá na mírné zarovnání a zkreslení na mříži.

Pro správnou klasifikaci zobrazení vad je potřeba definovat základní pojmy, jako defektní mříž a defektní motiv.

Uvažujme vzorovanou texturu typu $w \times t$, $F = \{f(a, b)\}$ a mříž typu $p \times q$, $L = \{f(a, b)\}$, které uvažujeme jako matice, kde každý prvek $f(a, b) \in \langle 0, 1 \rangle$ vyjadřuje intenzitu jasu pixelu vzorované textury a mříže. Defektní mříž \bar{L} , je definována jako

$$\bar{L} = L + P = \{\bar{f}(a, b)\} \quad (5)$$

kde $\bar{f}(a, b) = f(a, b) + \varepsilon(a, b)$ a současně také $P = \{\varepsilon(a, b)\}$ je matice $p \times q$ reprezentující aditivní defekty a $\varepsilon(a, b) \in \mathbb{R}$, $0 \leq \bar{f}(a, b) \leq 1$, $1 \leq a \leq p$ a $1 \leq b \leq q$.

Motiv představuje základní jednotku mříže, která může být použita pro generování mříže, s využitím kopírování motivu pomocí operací izometrie. Motiv M je definován jako matice $M = \{f(c, d)\}$. Defektním motivem \bar{M} rozumíme

$$\bar{M} = M + P = \{\bar{f}(c, d)\} \quad (6)$$

kde $\bar{f}(c, d) = f(c, d) + e(c, d)$ a $P = \{e(c, d)\}$ představuje matici $m \times n$ reprezentující aditivní defekty a $e(c, d) \in R$, $0 \leq \bar{f}(c, d) \leq 1$, $1 \leq c \leq m$ a $1 \leq d \leq n$.

Jsou – li dány dva motivy $M^s = \{f^s(c, d)\}$ typu $m \times n$ a $M^r = \{f^r(c, d)\}$ typu $m \times n$, v mřížce L . Potom l_k norma mezi těmito dvěma motivy je definována jako

$$u^{s,r} = \|M^s - M^r\|_k / N = (\sum_{c=1}^m \sum_{d=1}^n |f^s(c, d) - f^r(c, d)|^k)^{1/k} / N, \quad (7)$$

kde $N = m \cdot n$.

Je dán motiv M typu $m \times n$ vyjádřený jako matice

$$M = \{f(c, d)\} = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,n) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(m,1) & f(m,2) & \cdots & f(m,n) \end{bmatrix},$$

Pomocí operace cyklického posunutí H můžeme nový motiv definovat tak, že $M_{ij} = H[M]$ a obdržet následující matice (motivы).

$$M_{11} = \begin{bmatrix} \square(1,1) & \square(1,2) & \cdots & \square(1,n) \\ \square(2,1) & \square(2,2) & \cdots & \square(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \square(m,1) & \square(m,2) & \cdots & \square(m,n) \end{bmatrix},$$

$$M_{12} = \begin{bmatrix} f(1,2) & \cdots & f(1,n) & f(1,1) \\ f(2,2) & \cdots & f(2,n) & f(2,1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m,2) & \cdots & f(m,n) & f(m,1) \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{1n} = \begin{bmatrix} f(1,n) & f(1,1) & \cdots & f(1,n-1) \\ f(2,n) & f(2,1) & \cdots & f(2,n-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(m,n) & f(m,1) & \cdots & f(m,n-1) \end{bmatrix},$$

$$M_{21} = \begin{bmatrix} f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m,1) & f(m,2) & \cdots & f(m,n) \\ f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,n) \end{bmatrix},$$

$$M_{22} = \begin{bmatrix} f(2,2) & \cdots & f(2,n) & f(2,1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m,2) & \cdots & f(m,n) & f(m,1) \\ f(1,2) & \cdots & f(1,n) & f(1,1) \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{2n} = \begin{bmatrix} f(2,n) & f(2,1) & \cdots & f(2,n-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m,n) & f(m,1) & \cdots & f(m,n-1) \\ f(1,n) & f(1,1) & \cdots & f(1,n-1) \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{m,1} = \begin{bmatrix} f(m,1) & f(m,2) & \cdots & f(m,n) \\ f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m-1,1) & f(m-1,2) & \cdots & f(m-1,n) \end{bmatrix},$$

$$M_{m2} = \begin{bmatrix} f(m,2) & \cdots & f(m,n) & f(m,1) \\ f(1,2) & \cdots & f(1,n) & f(1,1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m-1,2) & \cdots & f(m-1,n) & f(m-1,1) \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{mn} = \begin{bmatrix} f(m,n) & f(m,1) & \cdots & f(m,n-1) \\ f(1,n) & f(1,1) & \cdots & f(1,n-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m-1,n) & f(m-1,1) & \cdots & f(m-1,n-1) \end{bmatrix},$$

Jsou-li dány motivy M^s typu $m \times n$ a M_{ij}^r typu $m \times n$, potom l_1 normu mezi těmito dvěma motivy můžeme definovat následovně.

$$u_{ij}^{s,r} = \| M^s - M_{ij}^r \|_1 / N. \quad (8)$$

Jestliže jsou z mříže L vybrány libovolné dva motivy typu $m \times n$, $M^s = \{f^s(c, d)\}$ a $M^r = \{f^r(c, d)\}$, pak existuje množina cyklických posunutí motivu, M_{ij}^r a $m \times n$ l_1 normou $\{u_{11}^{s,r}, u_{12}^{s,r}, \dots, u_{m,n}^{s,r}\}$ pro motivy M^s, M^r . Potom energie klouzavého odečtení mezi motivy M^s a M_{ij}^r definujeme vztahem

$$K_{s,r} = (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n u_{ij}^{s,r}) / N = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \|M^s - M_{ij}^r\| / N^2 \quad (9)$$

kde $0 \leq K_{s,r} \leq 1$.

Pro libovolné dva motivy typu $m \times n$ bez vady $M^s = \{f^s(c, d)\}$ a $M^r = \{f^r(c, d)\}$ v mříži L , můžeme definovat odpovídající motivy s vadami pomocí vztahů

$$\bar{M}^s = M^s + P^s = \{f^s(c, d) + e^s(c, d)\} \text{ a } \bar{M}^r = M^r + P^r = \{f^r(c, d) + e^r(c, d)\} \quad (10)$$

kde $\bar{f}^s(c, d) = f^s(c, d) + e^s(c, d)$ a $\bar{f}^r(c, d) = f^r(c, d) + e^r(c, d)$ je pro nějaké aditivní vady $e^s(c, d)$ a $e^r(c, d) \in R$.

Jejich posunuté motivy můžeme definovat jako

$$\bar{M}_{ij}^s = M_{ij}^s + P_{ij}^s = \{f_{ij}^s(c, d) + e_{ij}^s(c, d)\} \text{ a } \bar{M}_{ij}^r = M_{ij}^r + P_{ij}^r = \{f_{ij}^r(c, d) + e_{ij}^r(c, d)\}, \quad (11)$$

kde $\bar{f}_{ij}^s(c, d) = f_{ij}^s(c, d) + e_{ij}^s(c, d)$ a $\bar{f}_{ij}^r(c, d) = f_{ij}^r(c, d) + e_{ij}^r(c, d)$

je pro aditivní vady $e_{ij}^s(c, d), e_{ij}^r(c, d) \in R$.

Mezi dvěma motivy může mít l_1 norma tři tvary:

- a) $\bar{u}_{ij}^{s,r} = \|\bar{M}^s - \bar{M}_{ij}^r\|_1 / N$
- b) $\bar{u}_{ij}^{s,r} = \|M^s - \bar{M}_{ij}^r\|_1 / N$
- c) $\bar{u}_{ij}^{s,r} = \|\bar{M}^s - M_{ij}^r\|_1 / N$

kde \bar{M}^s a \bar{M}^r jsou motivy s vadou. M^s a M^r jsou motivy, které vadu neobsahují.

Dále platí:

1. Rozsah l_1 normy $\bar{u}_{ij}^{s,r}$ mezi motivy, které vadu obsahují a motivy, které vadu neobsahují z mříže L je

$$|u_{ij}^{s,r} - \bar{u}_{ij}^{s,r}| \leq \bar{u}_{ij}^{s,r} \leq u_{ij}^{s,r} + |e| \quad (12)$$

kde $u_{ij}^{s,r}$ je l_1 norma mezi dvěma motivy, které neobsahují vadu.

2. Pro $e \neq 0$ existuje přípustná odchylka kvantování chyb σ_{ij} pro l_1 normu. Rozdíl metriky mezi motivy s vadou a motivy bez vady, pro $\sigma_{ij} \geq 0$, z mříže L má rozsah

$$0 \leq \sigma_{ij} \leq |\bar{u}_{ij}^{s,r} - u_{ij}^{s,r}| \leq |e|, \quad (13)$$

kde $|e| = \max \{|e^{s,r}|, |e^s|, |e^r|\} = |e^{s,r}|$, $e^{s,r}, e^s, e^r \in R$, protože $|e^{s,r}(c, d)| = 2$, když $e^s(c, d) = 1$ a $e^{ij^r}(c, d) = -1$, nebo $e^s(c, d) = -1$ a $e^{ij^r}(c, d) = 1$.

Jsou dány motivy typu $m \times n$ z mříže L , s energií klouzavého odečtení $\bar{K}_{s,r}$ motivů obsahující vadu a energii klouzavého odečtení $K_{s,r}$ motivů neobsahující vadu. Rozdíl mezi energiemi klouzavého odečtení motivů s vadou a motivů neobsahující vadu je rozpětí

$$0 \leq |\bar{K}_{s,r} - K_{s,r}| \leq m \cdot n |e|, \quad (14)$$

kde $e \in R$ je hodnota vady a $|e| = |e^{s,r}|$, $e^{s,r} \in R$.

Jsou-li dány dva motivy typu $m \times n$ z mříže L . Jeden motiv obsahuje vadu a druhý vadu neobsahuje. Informace o defektu $e \in R$ získané z výpočtu energie klouzavým odečtením jako rozpětí, je zesílen pro motivy, které obsahují vadu \bar{M}^s a \bar{M}^r , právě tehdy když $m \cdot n \cdot \sigma \geq \delta$, kde $\sigma = \max_{ij} \{\sigma_{ij}\}$ je přípustná odchylka kvantizace chyb pro l_1 normu, $\delta \geq 0$ je přípustná odchylka v energii klouzavého odečtení a hodnot vady $|e| = |e^{s,r}|$, $e^{s,r} \in R$, poskytnuté, že:

1. Rozdíl v l_1 normách $u_{ij}^{s,r}$ a $\bar{u}_{ij}^{s,r}$ je rozpětí

$$0 \leq \sigma_{ij} \leq |\bar{u}_{ij}^{s,r} - u_{ij}^{s,r}| \leq |e|, \quad (15)$$

kde $\sigma_{ij} \geq 0$.

2. Rozdíl v energiích klouzavého odečtení $K_{s,r}$ a $\bar{K}_{s,r}$ je rozpětí

$$0 \leq \delta \leq |\bar{K}_{s,r} - K_{s,r}| \leq m \cdot n |e|, \quad (16)$$

kde $\delta \geq 0$.

Je dána energie klouzavého odečtení K motivu $M^s = \{f^s(c, d)\}$ typu $m \times n$ a cyklické posunuté motivy M_{ij}^r typu $m \times n$ z dalšího motivu $M^r = \{f^r(c, d)\}$ typu $m \times n$ a jejich l_1 normy označme $\{u_{11}^{s,r}, u_{12}^{s,r}, \dots, u_{m,n}^{s,r}\}$. Rozptyl energií je definován jako

$$V_{s,r} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (K_{s,r} - u_{ij}^{s,r})^2 / N \quad (17)$$

kde $N = m \cdot n$, $1 \leq c, i \leq m, 1 \leq d, j \leq n$.

Jsou dány dva motivy typu $m \times n$ z mříže L . Jeden motiv vadu obsahuje a druhý motiv vadu neobsahuje. Necht' $\bar{V}_{s,r}$ je rozptylem energií mezi motivy, které obsahují vadu a motivy, které vadu neobsahují, pak

$$V_{s,r} - \Phi \leq \bar{V}_{s,r} \leq V_{s,r} + \Phi \quad (18)$$

kde $\Phi = 2(mnK_{s,r} + 1) |e| + |e^2|$, energie klouzavého odečtení $K_{s,r}$ a hodnot defektů $e \in R$.

Pro všechna $e \neq 0$ existuje přípustná odchylka $\gamma \geq 0$ taková, že rozdíl v rozptyle energií mezi motivy neobsahující vadu a motivy obsahující vadu je $0 \leq \gamma \leq |\bar{V}_{s,r} - V_{s,r}| \leq \Phi$, kde $\Phi \in R$.

Jsou-li dány dva motivy bez vady typu $m \times n$ z mříže $L = [f(c, d)]$ s rozptylem energií motivů bez vady $V_{s,r}$ a jeho energií klouzavého odečtení $K_{s,r}$ tak platí:

- a) $0 \leq \delta \leq |\bar{K}_{s,r} - K_{s,r}| \leq mn |e|$
- b) $0 \leq \gamma \leq |\bar{V}_{s,r} - V_{s,r}| \leq \Phi$,

což definuje čtyři meze pro určení oblasti bez defektu.

Jinými slovy, pokud $K_{s,r}$, $V_{s,r}$ jsou souřadnice bodu v rovině x - y , tak defektní motivy o energiích $\bar{K}_{s,r}$ a rozptylech energií $\bar{V}_{s,r}$ by měly ležet v jedné z následujících oblastí:

1. $K_{s,r} - mn \cdot |e| \leq \bar{K}_{s,r} < K_{s,r} - \delta$
2. $K_{s,r} + \delta < \bar{K}_{s,r} \leq K_{s,r} + mn \cdot |e|$
3. $V_{s,r} - \Phi \leq \bar{V}_{s,r} < V_{s,r} - \gamma$
4. $V_{s,r} - \gamma < \bar{V}_{s,r} \leq V_{s,r} + \Phi$

kde $\delta \geq 0$, $\gamma \geq 0$, $\Phi = 2(mnK_{s,r} + 1) |e| + |e^2|$, $e^{s,r} \in R$.

Některé tvary motivů podle [6], které jsou získané ze vzoru, mohou mít tvary, které neumožňují provést operaci cyklického posunutí. Je proto nezbytné provést transformaci takovou aby bylo možné operaci cyklického posunutí použít.

1. Transformace získaného tvaru motivu z rovnoběžníku do tvaru obdélníku. Pro každý motiv M , nechť v je základním vektorem motivu M , existuje nesusingularní rotační matice $A = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$, kde θ je úhel, pod kterým je vektor v transformován na vektor v' tak, že $v' = Av$.
2. Transformace tvaru motivu z trojúhelníku do obdélníku. Pro každý motiv M , nechť v je základním vektorem motivu M , $v' = -v$. Pak je motiv M zobrazen jako \bar{M} . Za předpokladu že $F_{\bar{M}}(g) = \{z_{i,j} | z = g + iu + jv, i, j \in Z\}$ je zobrazením nového bodu po posunutí g na motiv \bar{M} z původního bodu $F_{\bar{M}}(0)$, kde u a v jsou základními vektory motivu \bar{M} . Takto může být získán motiv \bar{M} . Původní motiv M a posunutý motiv \bar{M} tak může vytvořit čtyřúhelník.

8.2 Detekce vad na vzorované textuře

Podle [3] je potřeba aplikovat některé kroky ještě před vytvořením algoritmu, který bude určen k detekci vad založeném na motivu. Jde především o přesnou formulaci hranic a o přesnou klasifikaci grupy symetrie. Pokud jde o přesné nalezení mezí, je potřeba stanovit meze *E-V diagramu* pro mříž, která neobsahuje vadu a *E-V diagramu* pro mříž, která obsahuje vadu. *E-V diagram* vyjadřuje hodnoty $K_{s,r}$ jako energii klouzavého odečtení a $V_{s,r}$ jako rozptyl energie klouzavého odečtení.

8.3 Postup k vytvoření algoritmu k detekci vad

Po předcházejících krocích, které vedly k určení mezí *E-V diagramu*, je nyní nutné provést kroky, které povedou k detekci vad. Jednotlivé kroky podle autora práce [6] mohou být popsány následovně:

- a) Určení grupy symetrie vstupního obrazu, který obsahuje vzor.
- b) Získání mříže z obrazu obsahujícího vzor.
- c) Získání motivu ze vstupního vzoru, podle typu tapety.

- d) Transformace tvaru získaného motivu do motivu, na který se může aplikovat cyklická operace.
- e) Aplikace cyklické operace na pravidelný motiv a vytvoření série posunutých motivů.
- f) Výpočet energie klouzavého odečtení $K_{s,r}$ a rozptylu $V_{s,r}$.
- g) Stanovením minimálních a maximálních hodnot $E-V$ diagramu dostaneme meze oblasti. Stanovení se provede ze vzorů, které vadu neobsahují.

Opakováním kroků a) \rightarrow b) je určováno, zda hodnoty $E-V$ leží uvnitř, nebo naopak vně nalezených mezí.

9. MĚŘENÍ PŘESNOSTI DETEKCE VAD

V současnosti podle [1] jsou známé dvě metody měření přesnosti detekce vad. Jednou z metod je výpočet úrovně úspěchu detekce, která je vyjádřena jako

$$\text{Úroveň úspěchu detekce} = \frac{\text{Počet správně detekovaných vzorků}}{\text{Celkové množství vzorků}} \quad (19)$$

Dále můžeme určit *míru detekce* a *míru falešných hlášení* , které je možno vyjádřit jako

$$\text{Míra detekce} = \frac{\text{Počet vadných vzorků správně detekovaných}}{\text{Celkový počet vadných vzorků}} \quad (20)$$

$$\text{Falešná hlášení} = \frac{\text{Počet vzorků bez defektu detekovaných jako vadné}}{\text{Celkový počet vzorků bez defektu}} \quad (21)$$

Pomocí označení pravdivě pozitivní (TP), falešně pozitivní (FP), pravdivě negativní (TN) a falešně negativní (FN) můžeme určit úroveň detekce úspěchu takto:

$$\text{Úroveň úspěchu detekce} = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \quad (22)$$

Přehled definic termínů *pravdivě pozitivní (TP)*, *falešně pozitivní (FP)*, *pravdivě negativní (TN)* a *falešně negativní (FN)* je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3 Přehled termínů hlášení

	Skutečně s vadou	Skutečně bez vady
Detekováno jako vadné	Pravdivě pozitivní	Falešně pozitivní
Detekováno jako bez vad	Falešně negativní	Pravdivě negativní

Správnou detekci vzorků s defektem (*citlivost*) a správnou detekci vzorků bez defektu (*účinnost*) je možné vyjádřit pomocí vzorců:

$$\text{Citlivost} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (23)$$

$$\text{Účinnost} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (24)$$

V praxi při zavádění systémů detekce vad plošných textilií je nezbytné zvažovat tyto faktory:

1. Kontrast mezi vadami a texturou povrchu, např. nízký kontrast snímku vede k chybné klasifikaci.
2. Konzistence textur pozadí, např. barevné rozdíly a zkreslení v textuře ovlivňuje získání snímku.
3. Vstupní rozlišení snímku, např. nízké rozlišení snímku nezobrazí jemné vady na textilií.
4. Zarovnání vstupu snímku, např. nezarovnání při získání snímku způsobuje chybnou detekci vad v šabloně vhodného postupu.
5. Velikost a tvar vad, např. vady malých velikostí, nebo vady podobné tvarům vzoru zvyšují obtížnost při jejich rozpoznávání.
6. Rychlost, nebo výpočetní složitost, např. dlouhá učící odezva nemusí být vhodná pro praxi.
7. Nevhodné osvětlení může vést ke špatnému rozlišení a kontrastu.
8. Způsob získání snímku, např. většina metod používá digitální kameru pro získání snímku.

Jsou známy také jiné metody pro získání snímku. Mezi takové metody můžeme zařadit:

- a) Blízké infračervené (NIR)
- b) Rentgenové záření
- c) Multispektrální zobrazení a polarimetrie

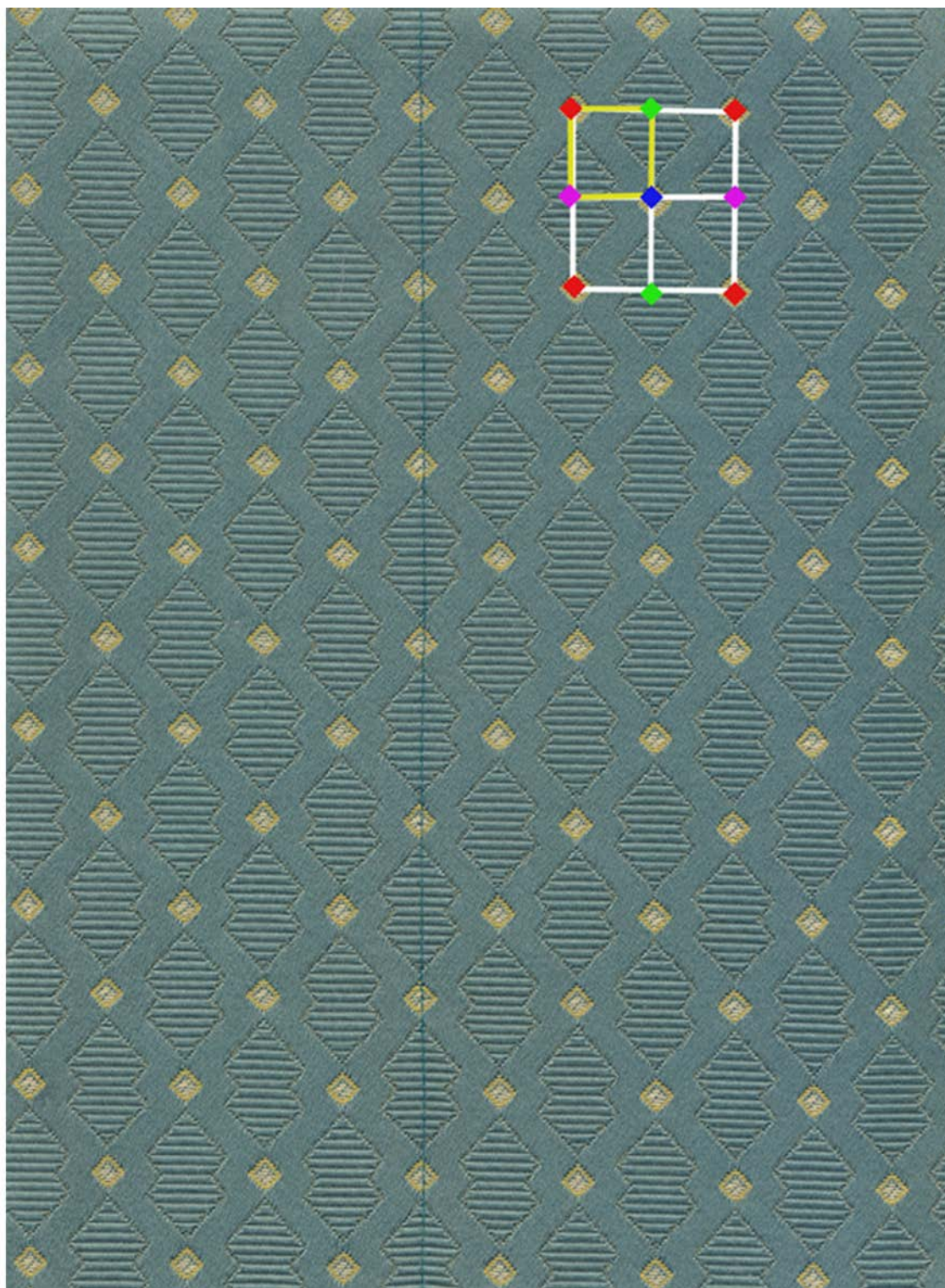
Tyto uvedené metody jsou schopny přinášet další vlastnosti a charakteristiky. Je vždy nutné zvážit rozdíly, které jednotlivé charakteristiky přinášejí a po jejich zhodnocení se správně vybrat vhodnou metodu. Právě vhodně zvolená metoda by měla vést ke zvýšení úspěšnosti detekce vad.

10. PŘÍKLAD 1 OVĚŘENÍ ALGORITMU U GRUPY SYMETRIE *PMM*

V tomto příkladu u dekorační tkaniny s žakárovým tkaným vzorem (viz obrázek 39) byl požadavek detekovat olejové skvrny vzniklé během výrobního procesu a zároveň detekovat zatkanou nit. Liovým algoritmem, který je uveden v kapitole 7 pro identifikaci dvourozměrných tapet byla stanovena grupa symetrie *pmm*. Na obrázku 40 je vyznačen vzor grupy symetrie *pmm* a žlutou barvou je vyznačen základní motiv toho vzoru. Vzor je složen ze čtyř motivů. Barevné kosočtverce zobrazují středy rotace a vyznačené hrany vzoru jsou zároveň osami zrcadlové symetrie. Barevný snímek byl nejprve transformován do monochromatického obrazu v 8 bitové hloubce.

Z vybraného vzoru, který neobsahoval defekt, byl získán motiv. Se získaným motivem byly porovnávány ostatní motivy podle metodiky z kapitoly 8. Tímto způsobem bylo získáno 70 hodnot energií a variancí. Na základě těchto získaných hodnot byly stanoveny meze pro *E-V diagram*, jak je patrné z obrázku 42. Dále byly do diagramu doplněny body, které porovnávají vzorový motiv s motivy z defektní oblasti.

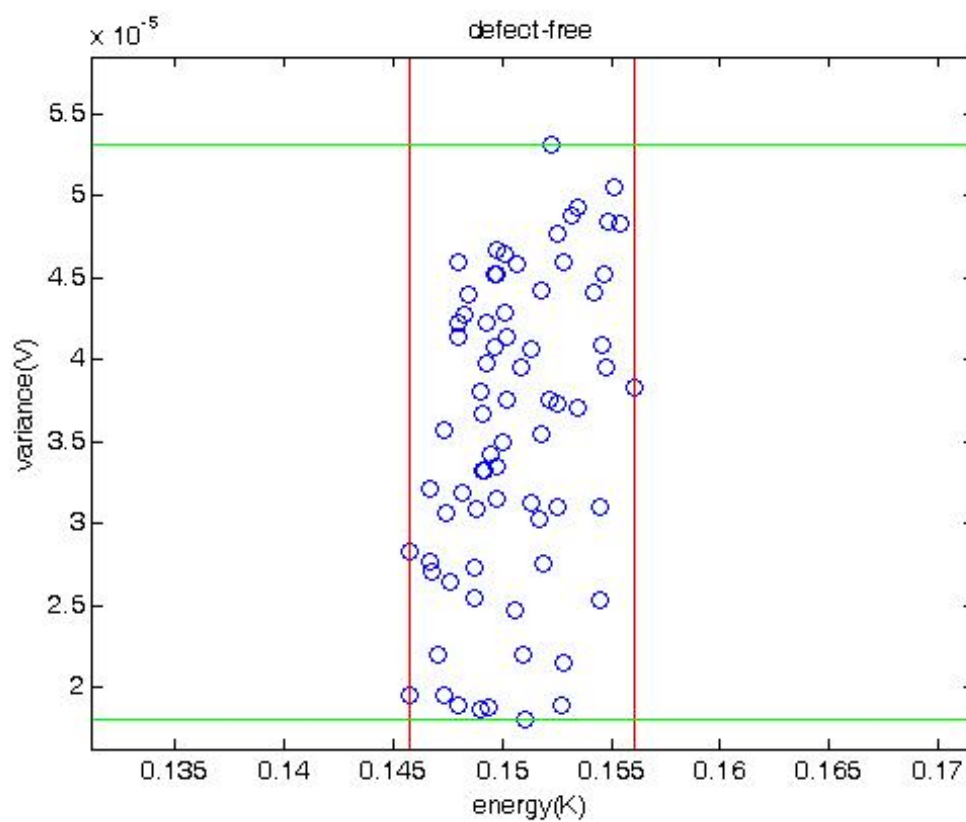
Výsledky experimentu je možné sledovat na obrázku 40. Všechny body na obrázku 43, které leží mimo oblast nastavených mezí, jak horizontálních tak vertikálních jsou považovány za motivy obsahující vadu. Výsledky experimentu jsou shrnuty na obrázku 41, kde ohraničené oblasti jsou okna obsahující vadu, jak s olejovými skvrnami, tak i defekt zatkané nitě. Červeně ohraničené oblasti detekují vady, kde byly překročeny vertikální meze *E-V diagramu*, tudíž byly překročeny hodnoty energie. Zeleně ohraničené oblasti detekují vady, kde byly překročeny horizontální meze *E-V diagramu*, to znamená, že byly překročeny hodnoty rozptylů. Z obrázku 41 je patrné, že se zde objevilo i několik "fals alarmů".



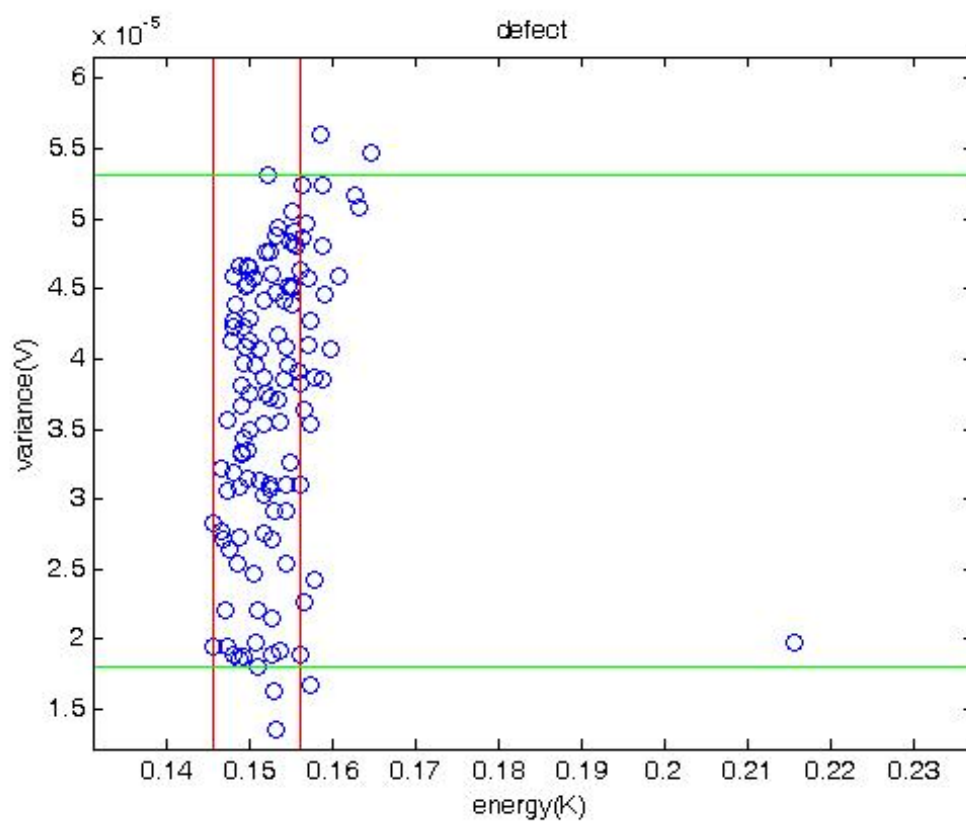
Obr. 40 Snímek tkaniny se základním vzorem a základním motivem



Obr. 41 Snímek s detekovanými vadami



Obr. 42 Snímek hodnot energií a rozptylů pro motivy bez defektu



Obr. 43 Snímek s překročenými hranicemi energií a rozptylů a detekcí defektů

11. PŘÍKLAD 2 OVĚŘENÍ ALGORITMU U GRUPY SYMETRIE *CM*

V příkladu 2 byla vybrána dekorační tkanina s jiným žakárovým vzorem, která je zobrazena na obrázku 44. Cílem experimentu je ověřit, jestli je algoritmus schopen detekovat olejovou skvrnu také na jiném vzoru u jiné grupy symetrie. Vzor tkaniny byl, podle Liova algoritmu uvedeném v kapitole 7 zařazen do grupy symetrie *cm*.

Tvar vzoru a motiv grupy symetrie *cm* je zobrazen na obrázku 45. Základní motiv uvedené grupy symetrie je ohraničený žlutou barvou. Je to nejmenší část vzoru, která se opakuje v každém vzoru na dvourozměrné tapetě grupy symetrie *cm*. Vzor je tvořen dvěma stejnými motivy. Základní motiv grupy symetrie *cm* je uprostřed vzoru zrcadlově překlopen a vznikne identický druhý motiv. Složením dvou motivů je vytvořen vzor, který je po dvourozměrné tapetě posunován pomocí nezávislých posunutí.

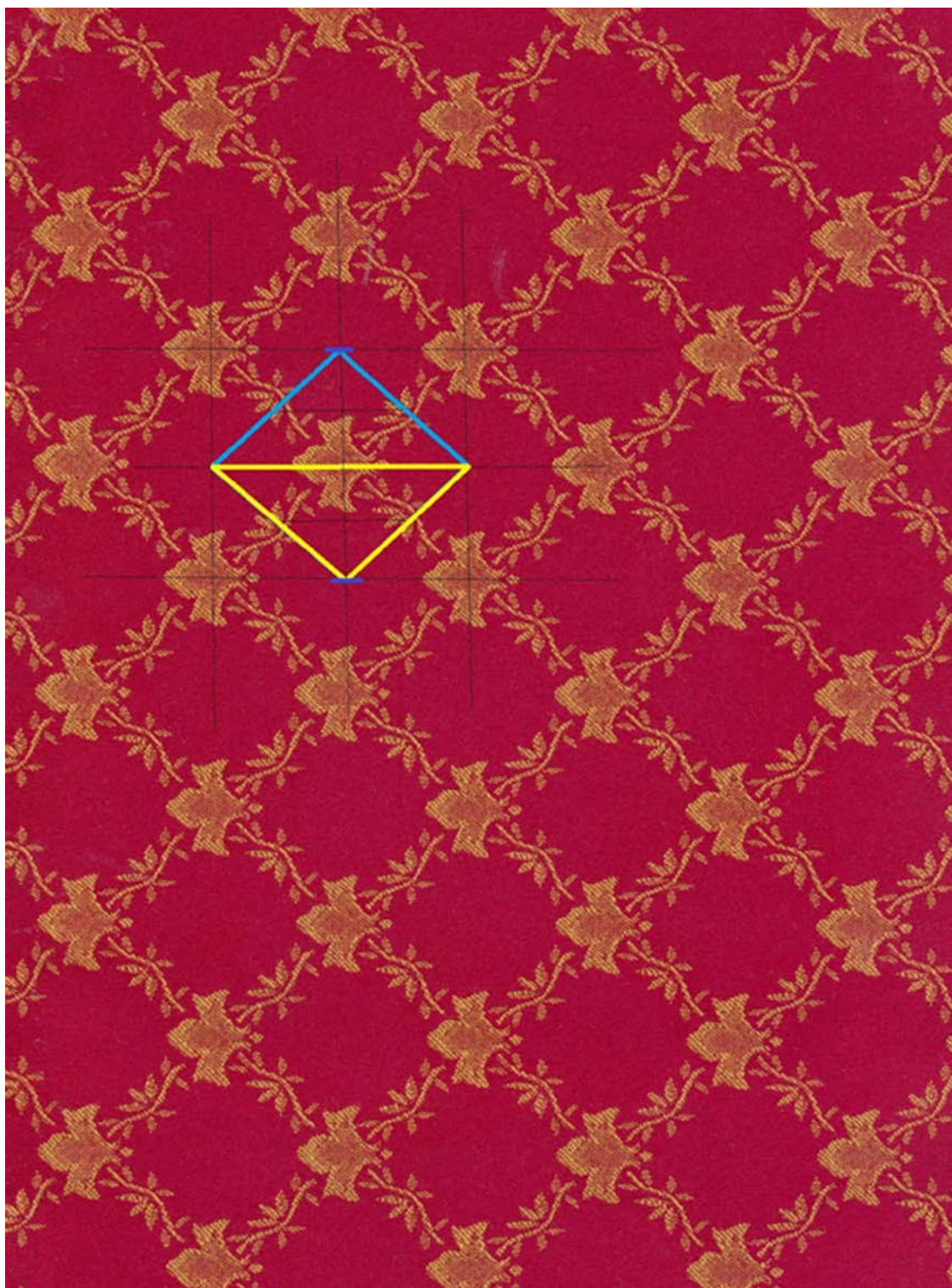
Snímek byl převeden do monochromatického obrazu v 8 bitové hloubce. Na snímek, který neobsahoval defekt, byla nasazena mříž, která pokrývá všechny vzory. Na obrázku 46 je znázorněna mříž vzoru v monochromatickém zobrazení. Ze vzoru, který neobsahoval defekt, byl získán základní motiv. Na obrázku 47 je znázorněn základní motiv vzoru v monochromatickém zobrazení. S takto získaným základním motivem, byly ostatní motivy dvourozměrné tapety porovnávány podle metodiky uvedené v kapitole 8. Na obrázku 48 jsou znázorněny olejové skvrny na ploše tkaniny. Olejové skvrny by měly být algoritmem k detekci vad zachyceny jako oblasti s vadami.

Z oblastí ve kterých se vady nevyskytovaly, bylo z motivů získáno celkem 80 hodnot energií a rozptylů jak je uvedeno na obrázku 49. Na základě těchto získaných hodnot byly stanoveny meze pro *E-V diagram*. Pokud hodnoty překročí stanovené meze, je detekována vada. Výsledek experimentu na obrázku 50 dokazuje, že jsou překročeny meze *E-V diagramu*. Na obrázku 51 jsou zobrazeny červeně oblasti, ve kterých byly překročeny meze energií a tudíž správná detekce vad. Překročení mezí pro rozptyl

prokazuje obrázek 52, kde jsou oblasti zachycující vady ohraničeny zeleně. Překročení mezí pro energii a rozptyl je zobrazeno na obrázku 53. Z obrázků je také zřejmé, že v jedné oblasti s olejovou skvrnou, nedošlo k detekci vady, kde nebyly v *E-V diagramu* překročeny meze pro energii a pro rozptyl.



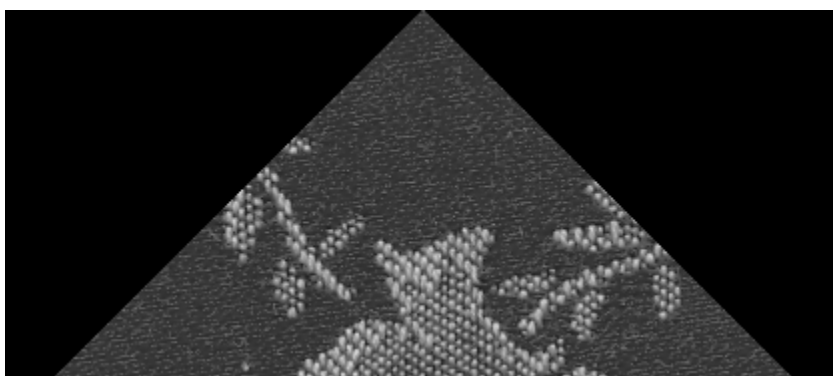
Obr. 44 Snímek tkaniny



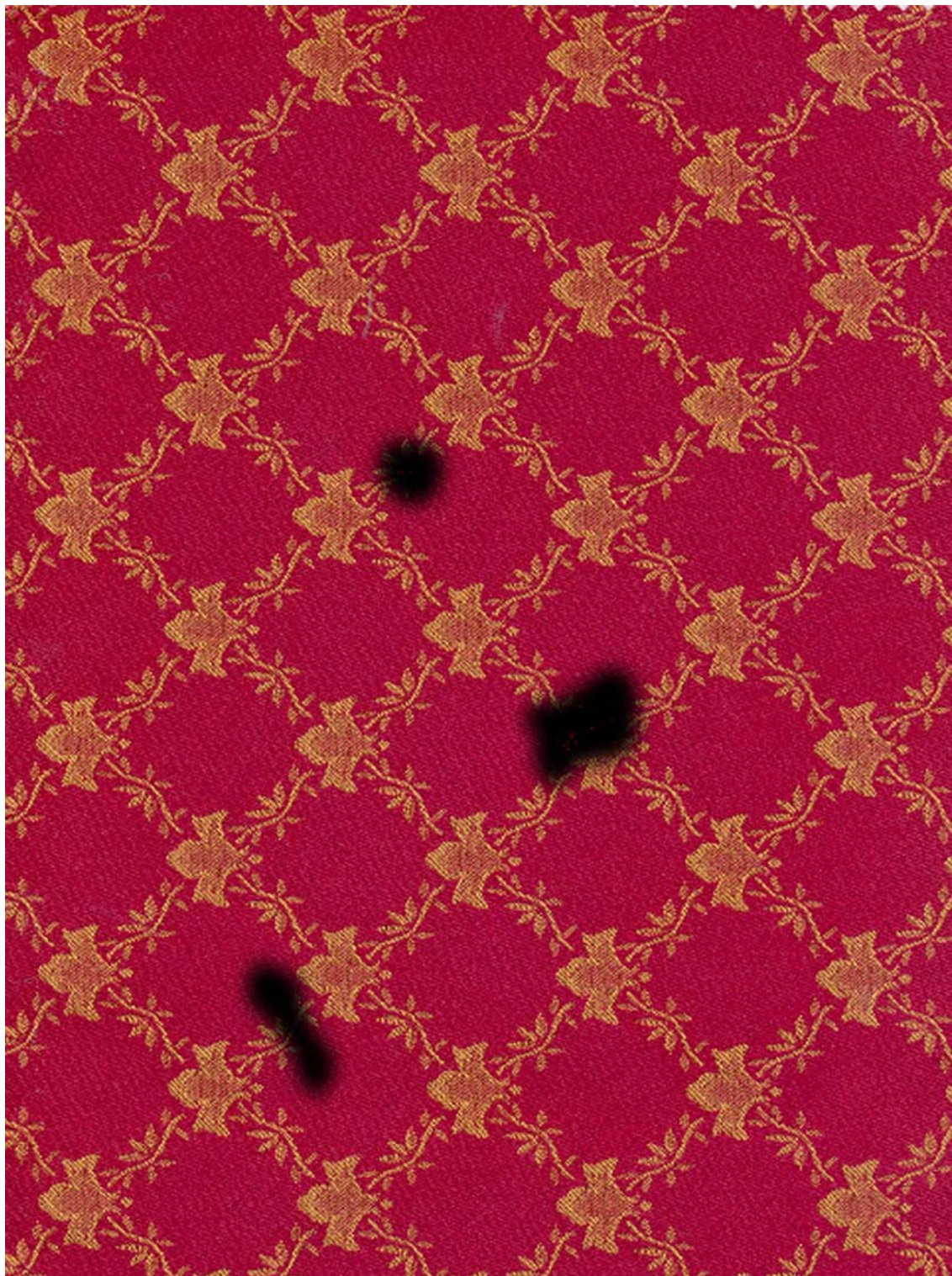
Obr. 45 Snímek tkaniny s vyznačeným základním vzorem a záklaním motivem vzoru



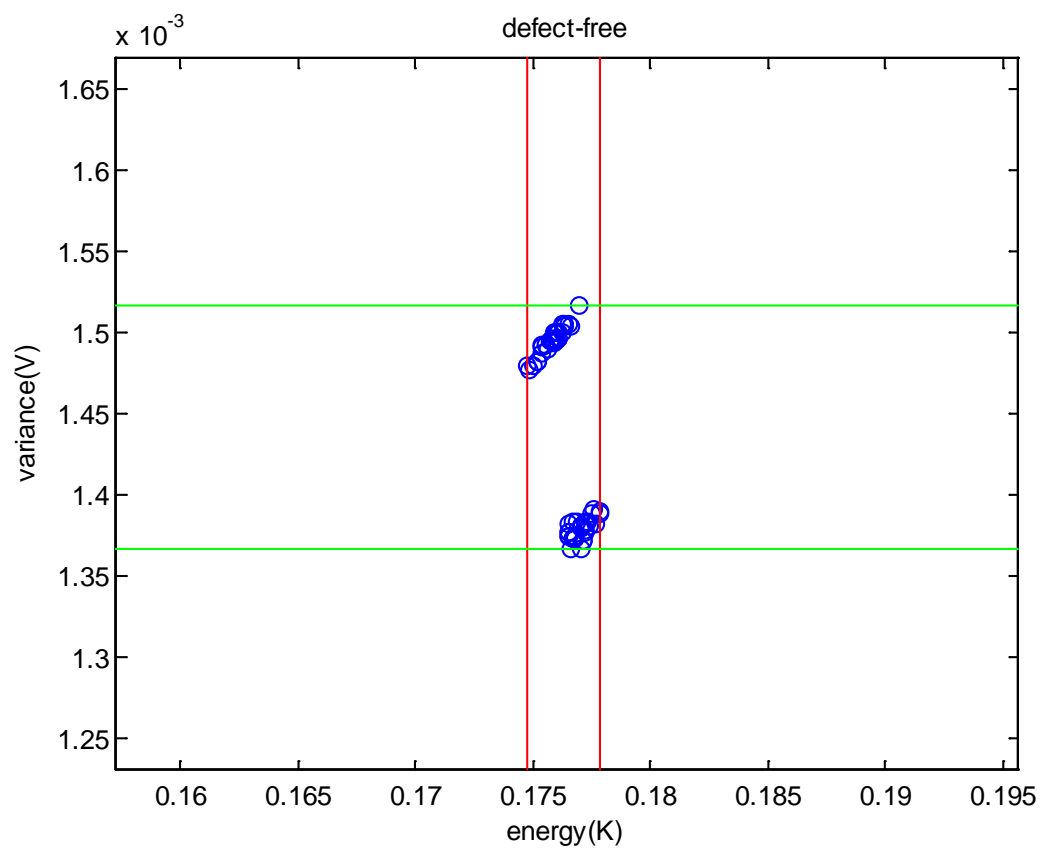
Obr. 46 Snímek mříže v monochromatickém zobrazení

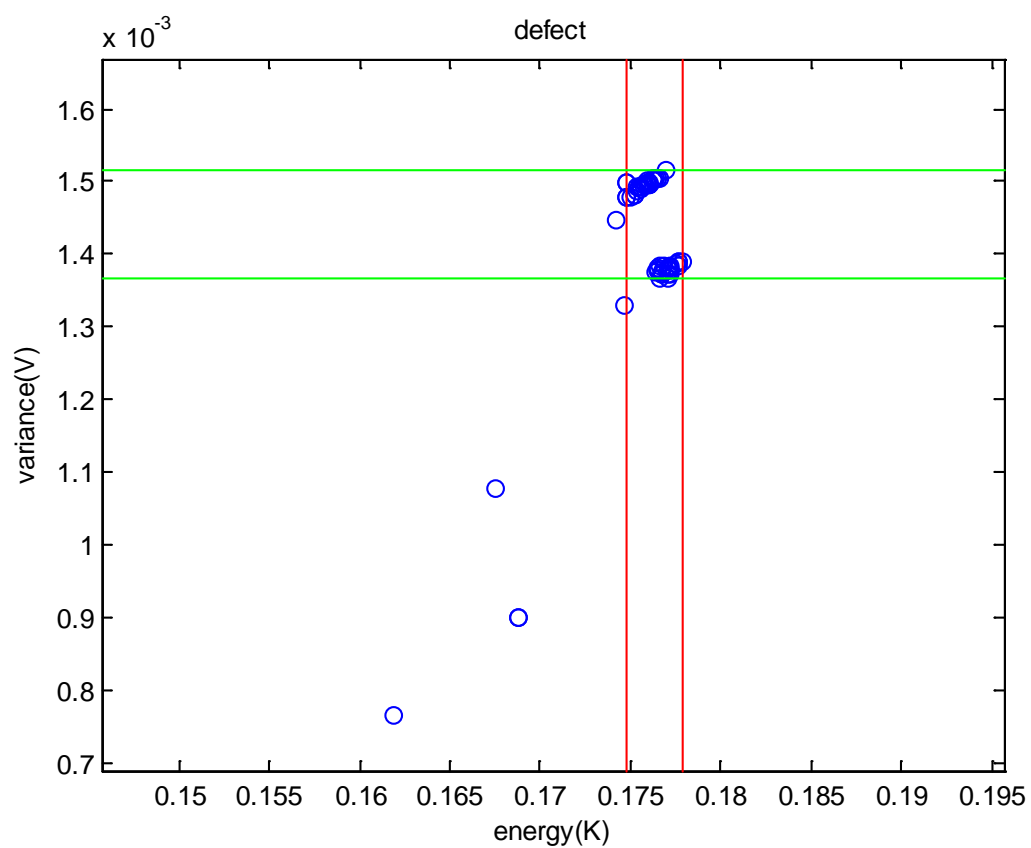


Obr. 47 Snímek motivu v monochromatickém zobrazení

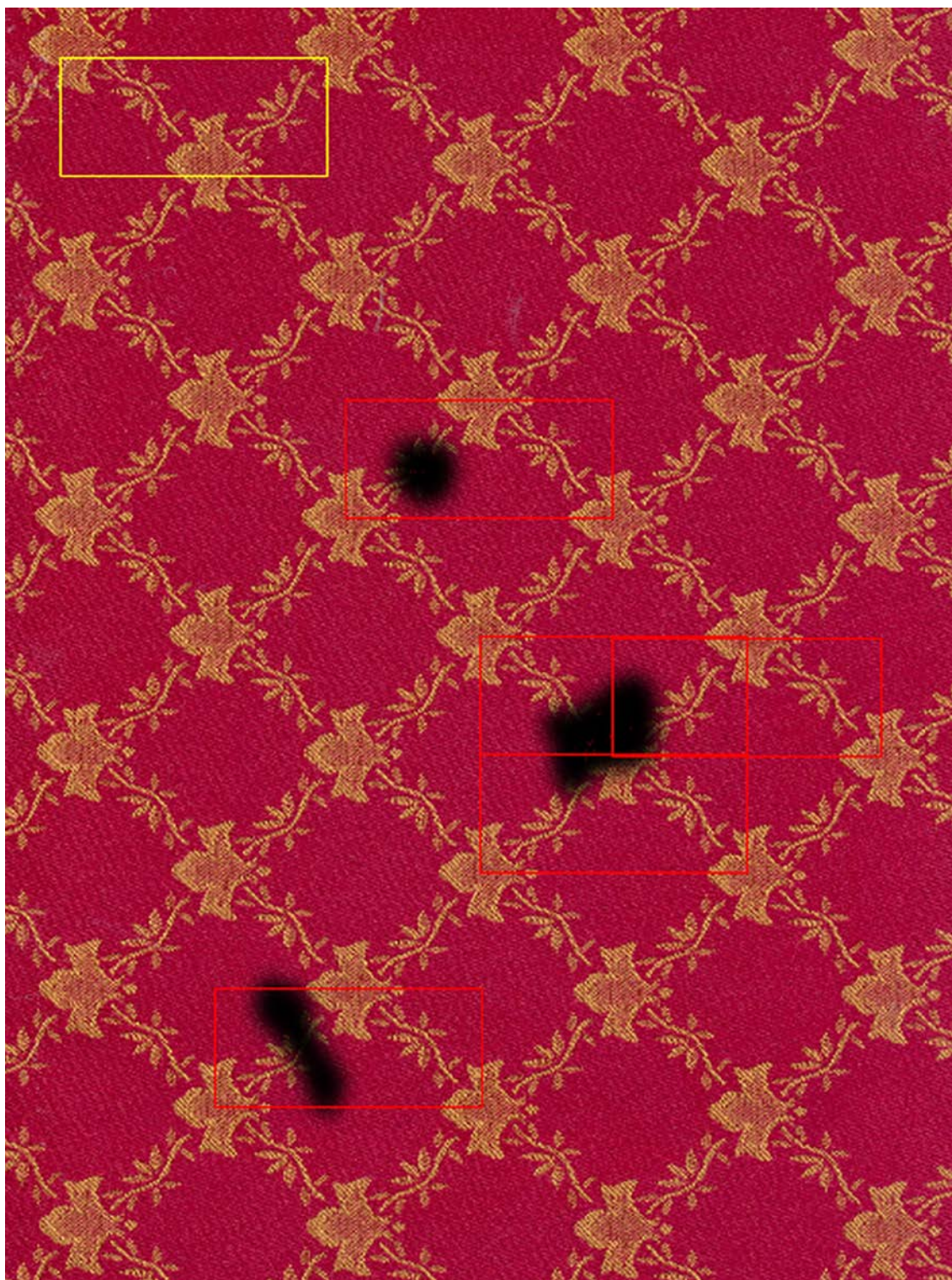


Obr. 48 Snímek tkaniny obsahující olejové skvrny

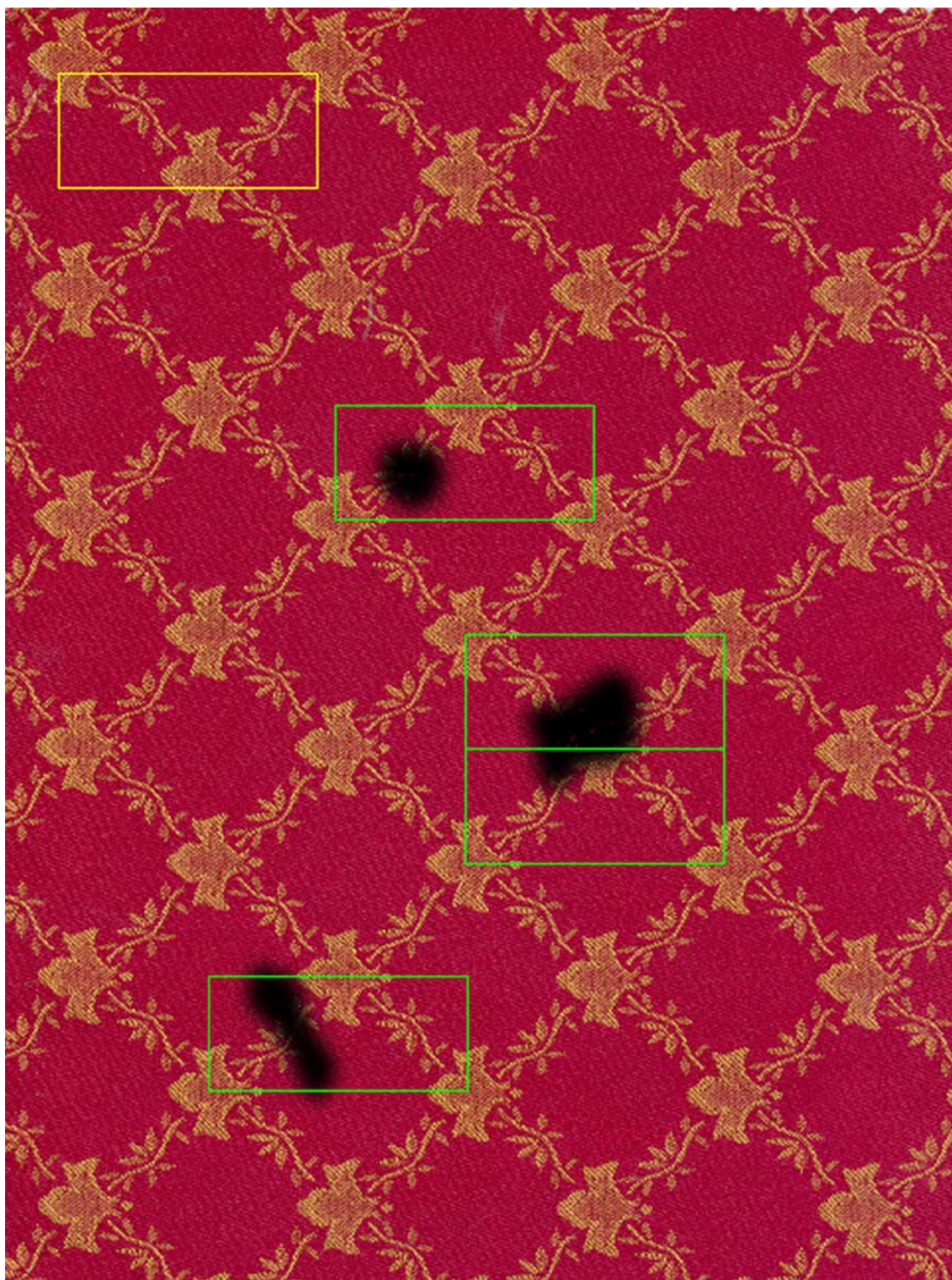




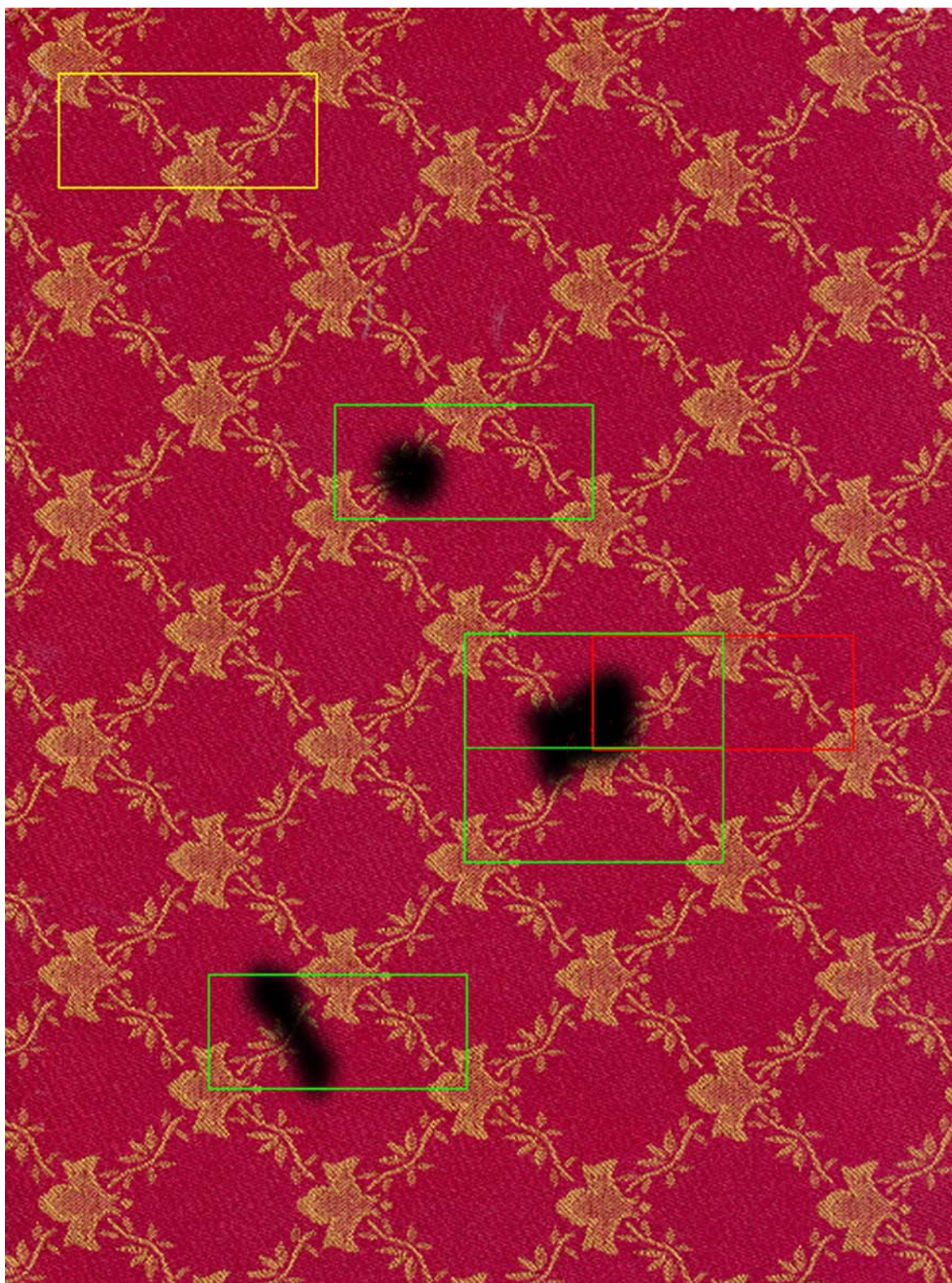
Obr. 50 Snímek zachycující defektní motivy překračující meze



Obr. 51 Snímek zachycující defektní oblasti



Obr. 52 Snímek zachycující defektní oblasti



Obr. 53 Snímek zachycující defektní oblasti

12. PŘÍKLAD 3 OVĚŘENÍ ALGORITMU U GRUPY SYMETRIE *PMM*

Ve třetím příkladu byla vybrána tkanina s tištěným vzorem na rozdíl od přechozích tkanin, které byly se vzorem tkaným. Tkanina je zařazena do grupy symetrie *pmm* podle Liova algoritmu pro identifikaci dvourozměrných tapet stejně jako v prvním příkladu. Snímek tkaniny s tištěným vzorem je na obrázku 54. Požadavek byl stejný jako u předchozích příkladů, detekce olejových skvrn na ploše tkaniny. Na obrázku 55 je snímek tkaniny s vyznačeným základním vzorem. Žlutě vyznačená oblast je základní motiv vzoru. Snímek byl převeden do monochromatického obrazu v 8 bitové hloubce. Na základní snímek byla nasazena mříž tak, aby pokryla všechny vzory snímku. Z vybraného vzoru, který neobsahoval defekt, byl získán základní motiv. Podle metodiky z kapitoly 8 byly se získaným motivem porovnávány ostatní motivy snímku tkaniny. Tak bylo získáno 95 hodnot energií a rozptylů jak je zřejmé z obrázku 56. Na základě takto získaných hodnot byly stanoveny meze pro *E-V diagram*. Na obrázku 57 jsou zobrazeny olejové skvrny na ploše tkaniny. Pokud je algoritmus nastavený správně, měly by být oblasti s olejovými skvrnami detekovány jako oblasti s defektem.

Porovnáním hodnot referenčního motivu bez defektu s motivy, které vady obsahovaly byly v *E-V diagramu* překročeny meze energie a rozptylu jak je zřejmé na obrázku 58. Na obrázku 59 je žlutou čarou zobrazený referenční motiv. Dále jsou na obrázku 60 zobrazeny červeně ohraničené oblasti, které představují překročené meze pro energii. Překročení mezí rozptylu je na obrázku 60 zobrazeno ohraničením zelených oblastí. Na obrázku 61 jsou zobrazeny oblasti ve kterých byly překročeny jak meze energie, tak překročené meze rozptylu.

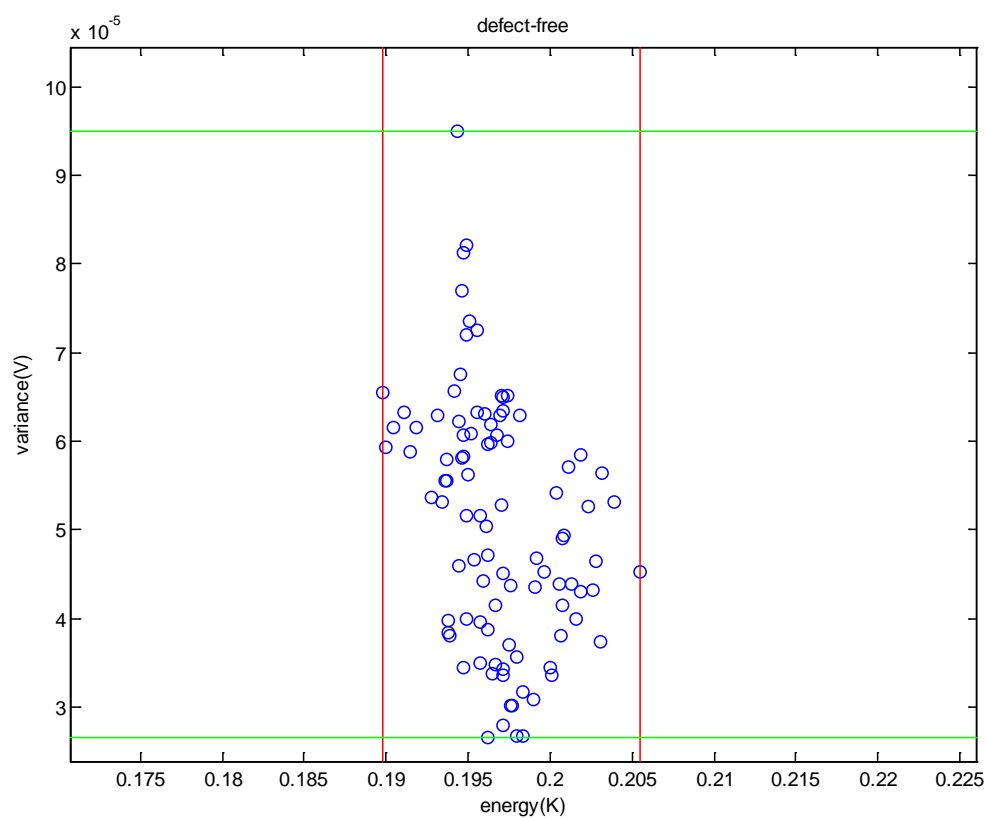
Ze snímků je také patrné, že detekce vad nebyla úplně přesná. V některých oblastech s olejovými skvrnami nedošlo k zachycení defektů v okrajových oblastech olejových skvrn.



Obr. 54 Snímek tkaniny bez defektu



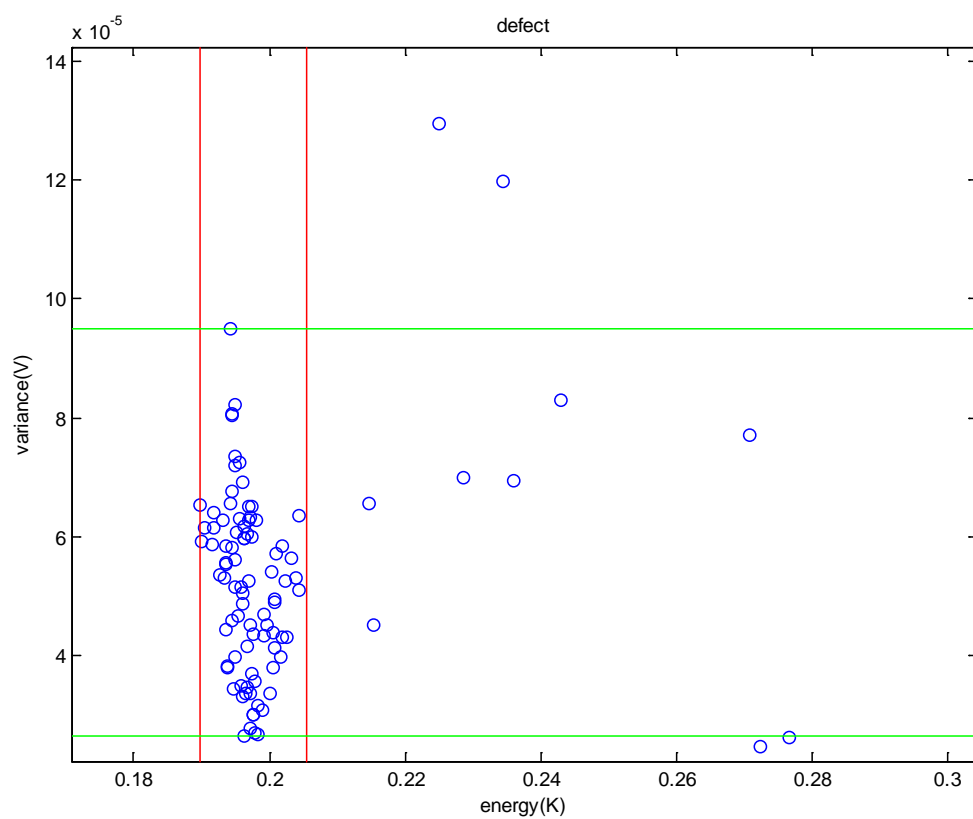
Obr. 55 Snímek tkaniny s vyznačeným základním vzorem a základním motivem



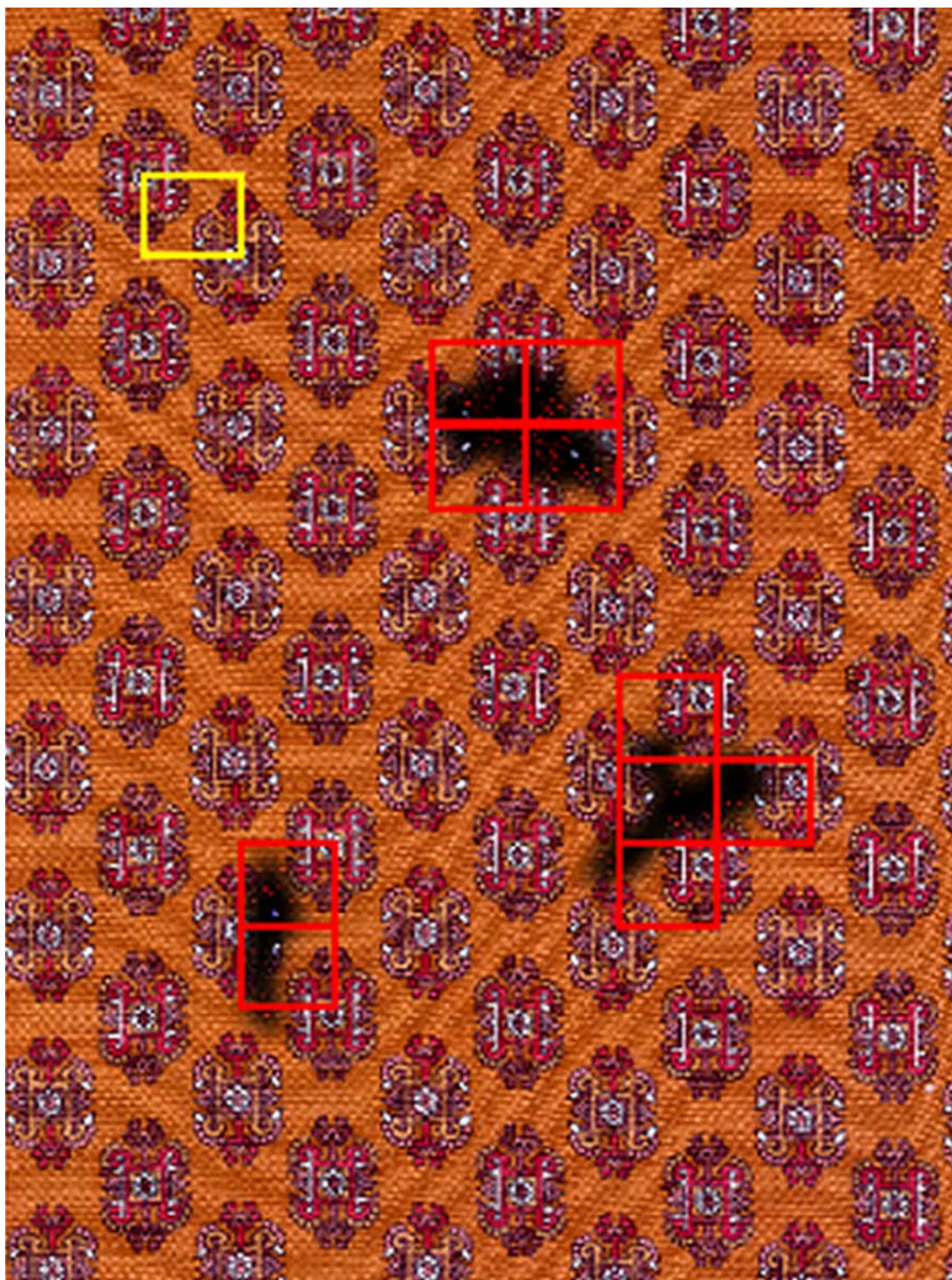
Obr. 56 Snímek hodnot pro motivy bez defektu



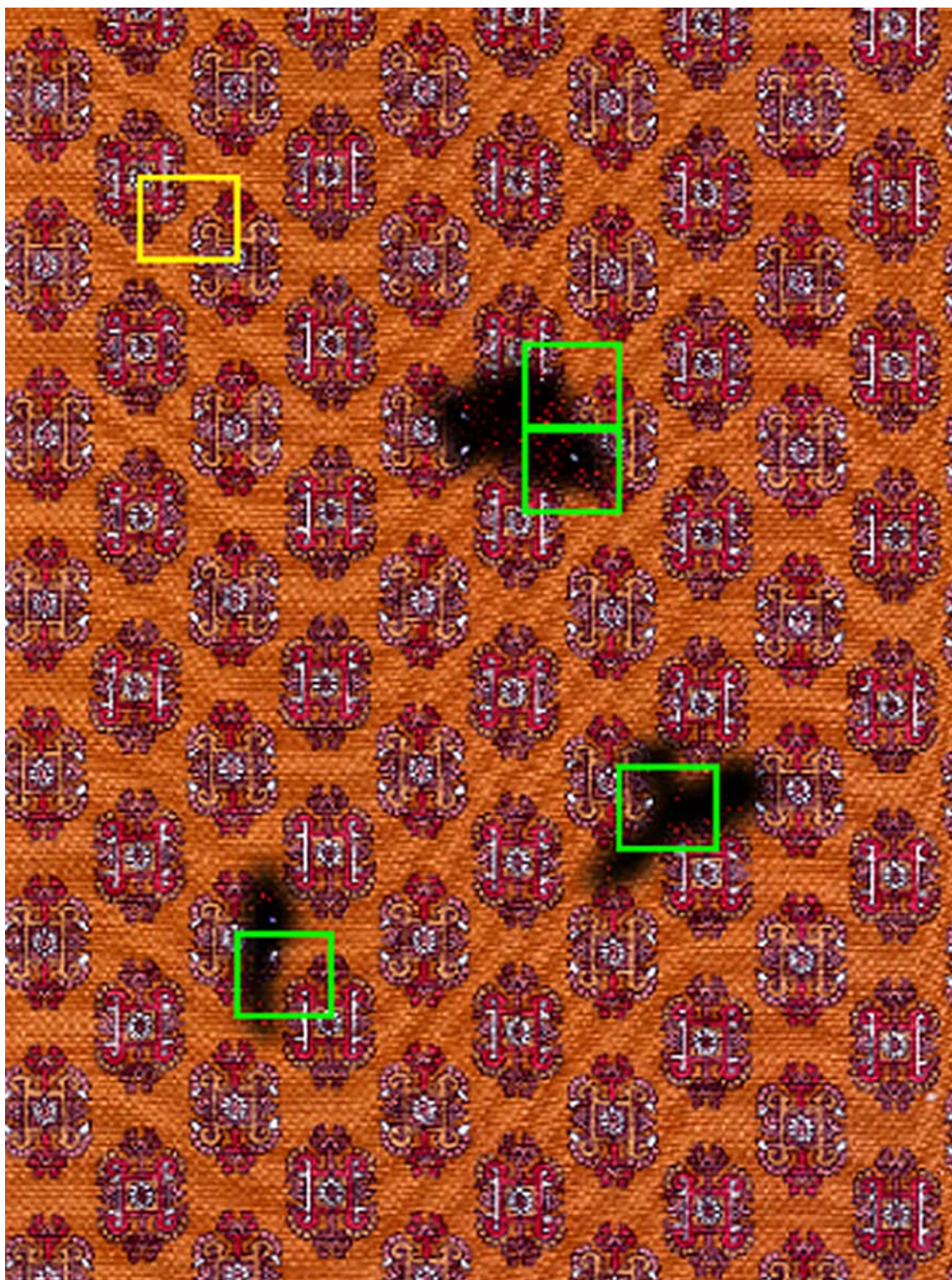
Obr. 57 Snímek tkaniny s olejovými skvrnami



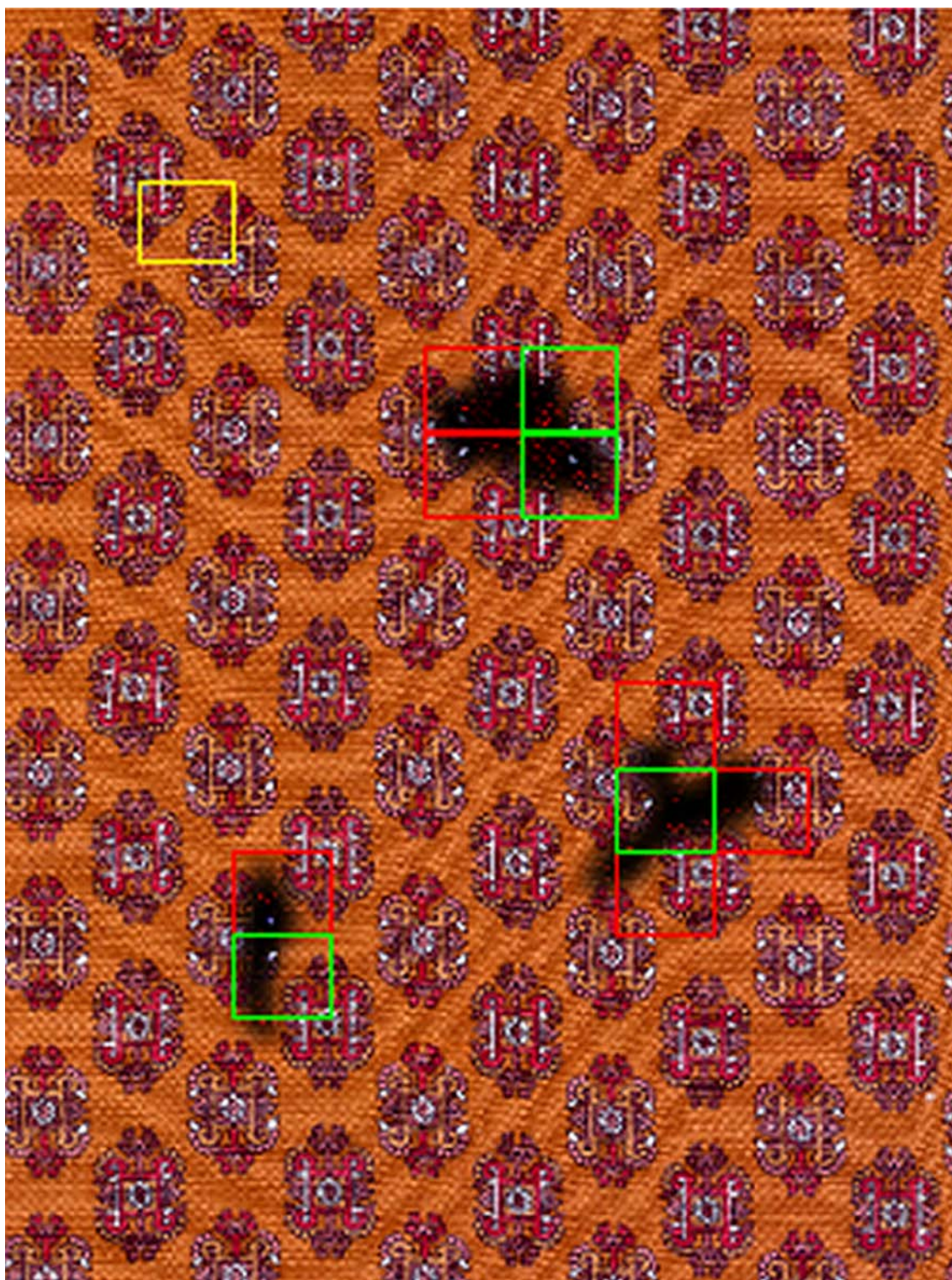
Obr. 58 Snímek zobrazující zachycení motivů s defektem



Obr. 59 Snímek s vyznačenými oblastmi detekující vadu



Obr. 60 Snímek s vyznačenými oblastmi detekující vadu



Obr. 61 Snímek s vyznačenými oblastmi detekující vadu

ZÁVĚR

V první části diplomové práce byl proveden podrobný přehled a popis grup symetrie dvourozměrných tapet. V práci je popsáno všech 17 rovinných grup symetrie. Podle daných pravidel symetrie je možno plošné vzory zařadit do jednotlivých grup symetrie. Na snímcích jsou uvedeny jednotlivé typy dvourozměrných tapet včetně snímku, který se vyskytuje v reálné podobě. Zařazení reálných vzorů do grup symetrie není jednoduchou záležitostí. V dostupných zdrojích jsou k dispozici postupy, podle kterých se dají reálné textury zařadit. Zařazení vzorů však vyžaduje určitou praxi a představivost aby bylo možné přesně určit typ dvourozměrné tapety. Podstatou správného zařazení tapety je, že je nezbytné z daného vzoru extrahovat motiv. Motiv je jako základní prvek každého vzoru nutný pro další použití. Ověření metody založené na motivu pro náhodně vybrané reálné textilie je cílem práce. Vhodnou analýzou motivu, které se vyskytují na vzorovaných textiliích, je možné detekovat vady.

V současnosti se používá metoda založená na motivu pro detekci vad pro 16 ze 17 grup symetrie. Pro grupu $p1$ není tato metoda vhodná, jelikož ve vzoru je obsažen pouze jeden motiv, který nepodléhá žádné symetrii a vzor se na tapetě opakuje pouze posunutím. U ostatních grup symetrie je tato metoda naopak vhodná, protože motiv ve vzoru podléhá různým stupňům rotace a dalším symetriím.

U metody založené na motivu je v první řadě nezbytné přesné určení grupy symetrie. Po určení grupy symetrie je nutné určit typ mříže, která by se mohla na zkoumaný snímek nasadit tak, aby byla rovnoměrně rozprostřena a aby obsahovala jednotlivé vzory. Ve vzoru, vzniklého přiložením mříže musí být nalezen motiv. Zkoumáním motivu jako nejmenší části vzoru, který se ve vzoru opakuje, je možné detekovat vady v textuře jednotlivých textilií grup symetrie.

Pro detekci vad založené na motivu vzoru byl sestaven skript v programu *MATLAB*. Tento vytvořený skript nejprve stanoví energie $K_{s,r}$ a rozptyl $V_{s,r}$ pro nedefektní oblasti mříže, na základě kterých se provede stanovení regulačních mezí. Potom se do diagramu provede vynesení energií a rozptylů ze všech získaných motivů. Ty body, které leží, mimo regulační meze byly označeny za defektní. Podařilo se ověřit, že tento

poměrně jednoduchý algoritmus má pro různé grupy na reálných plošných textiliích a vzorech poměrně vysokou eficienci. Ani v porovnání s ostatními metodami, které jsou založeny na jiných přístupech (např. texturních charakteristikách) nedopadá tato metoda špatně.

Závěrem je možné konstatovat, že metoda je vhodná k detekci vad pro typy dvourozměrných tapet, které byly v příkladech testovány. Mírně limitující z pohledu automatické vizuální detekce vad je stanovení grupy symetrie aby mohl být určen motiv. Grupa symetrie musí být stanovena manuálně na základě Liova algoritmu. Přesto se domnívám, že vzhledem k vysoké účinnosti této metody pro detekci vad bude možné metodu začlenit, nebo vzít jako základ tzv. hybridních algoritmů.

LITERATURA

- [1] Ngan, H. Y. T., Pang, G. K. H., Yung, N. H. C.: Automated fabric defect detection-A review, *Image and Vision Computing* 29 (2011), pp. 442-458
- [2] Maxwell, L.: *Plane symmetry Groups*. 2008
- [3] Ngan, H. Y. T., Pang, G. K. H., Yung, N. H. C.: Motif- based defect detection for patterned fabric, *Pattern Recognition*, 41, 2008, pp 1878-1894
- [4] Horne, C.: *Geometric symmetry in patterns and tilings*. Woodhead Publishing Ltd, CRC Press LLC, 2000, ISBN 1 88573 492 3
- [5] Schattschneider, D.: *The Plane Symmetry Groups: Their Recognition and Notation*. *American Mathematical Monthly*, Vol. 85, No. 6, pp. 439-450
- [6] Ngan, H. Y. T., Pang, G. K. H.: Performance Evaluation for Motif-Based Patterned Texture Defect Detection. *IEEE Transaction on Automation Science and Engineering*, vol. 7, No. 1, 2010, pp. 58-72

- [7] Liu, Y., Collins, R.: A Computational Model for Periodic Pattern Perception Based on Frieze and Wallpaper Groups. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 3, 2004
- [8] Ngan, H. Y. T., Pang, G. K. H.: Ellipsoidal decision regions for motif-based patterned fabric defect detection. Pattern Recognition, vol. 43, 2009, pp. 2132-2144
- [9] http://art.unt.edu/ntieva/pages/about/newsletters/vol_14/no_1/page7.htm
- [10] <http://www.shodor.org/interactivate/discussions/SymmetryInTessellati/>
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_\(group\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_(group))

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Příloha 1

Hlavní zdrojový kód

```
clear,clc,close all
tic
aa=imread('obr.tif');
% grupa symetrie pmm
tt=aa;
figure(1),imshow(aa);
bb=rgb2gray(aa);
bb=im2double(bb);
%figure(2),imshow(aa);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% cc=im2bw(aa(:,:,1),0.7);
% %figure,imshow(cc)
% dd=bwareaopen(cc,10);
% %figure,imshow(dd);
% SE = strel('disk', 10);
% ee=imclose(dd,SE);
% ee=imclearborder(ee);
% %figure,imshow(ee)
% L=bwlabel(ee);
% stat=regionprops(L,'Centroid');
% C=round(cat(1,stat.Centroid));
% for ii=1:length(C);
%     tt(C(ii,2),C(ii,1),1)=255;
%     tt(C(ii,2),C(ii,1),2)=0;
%     tt(C(ii,2),C(ii,1),3)=0;
% end
% figure,imshow(tt)
%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% i1=1085;
% i2=1404;
% j1=878;
% j2=1151;

jj0=[609,132;
609,451;
882,132;
882,451];

i1=132+2*160;
i2=451+2*160;
j1=609+2*137;
j2=882+2*137;
cc=bb(i1:i2,j1:j2);
s1=(i2-i1+1)/2;
s2=(j2-j1+1)/2;
mm1=bb(i1:i1+s1-1,j1:j1+s2-1);

temp=mm1;

vysl=[];

for m=0:5
    for n=-2:2
```

```

i1=132+319*m;
i2=451+319*m;
j1=609+273*n;
j2=882+273*n;

cc=bb(i1:i2,j1:j2);
s1=(i2-i1+1)/2;
s2=(j2-j1+1)/2;
M=[];
M(:, :, 1)=bb(i1:i1+s1-1, j1:j1+s2-1);
M(:, :, 2)=bb(i1+s1:i2, j1:j1+s2-1);
M(:, :, 3)=bb(i1:i1+s1-1, j1+s2:j2);
M(:, :, 4)=bb(i1+s1:i2, j1+s2:j2);
kk=size(temp);
u=[];
for j=1:4
for k=1:kk(1,1)
    mm2a=circshift(M(:, :, j), -k);
    for l=1:kk(1,2)
        u(k,l)=sum(sum(abs(temp-circshift(mm2a', -l)')))/(kk(1,1)*kk(1,2));
    end;
end;
K12=sum(sum(u))/(kk(1,1)*kk(1,2));
k12=K12*ones(kk(1,1),kk(1,2));
V12=sum(sum((k12-u).^2))/(kk(1,1)*kk(1,2));

vysl=[vysl; K12, V12, i1, j1];
end

% figure,imshow(mm1)
% figure,imshow(mm2)
% figure,imshow(mm3)
% figure,imshow(mm4)

end;
end;

% jj=[]
%
%
%
% jj0=[609,132;
% 609,451;
% 882,132;
% 882,451];
%
% jj1=[606,1083;
% 606,764;
% 881,1083;
% 881,764];
%
% jj2=[598,1709;
% 599,1395;
% 874,1711;
% 875,1398];
%
% jj3=[600,1708;
% 600,2027;
% 875,1708;
% 875,2027];

```

toc

```
clear,clc,close all

load data_pesek_01
[idx]=find(vysl(:,4)<609);
vysl(idx,:)=[];
figure,plot(vysl(:,1),vysl(:,2),'o'),axis([min(vysl(:,1))-0.1*min(vysl(:,1))
max(vysl(:,1))+0.1*max(vysl(:,1)) min(vysl(:,2))-0.1*min(vysl(:,2))
max(vysl(:,2))+0.1*max(vysl(:,2))]),hold on
title('defect-free'),xlabel('energy(K)'),ylabel('variance(V)')
m1Ksr=min(vysl(:,1));
m2Ksr=max(vysl(:,1));
m1Vsr=min(vysl(:,2));
m2Vsr=max(vysl(:,2));
xx=[min(vysl(:,1))-0.1*min(vysl(:,1)) max(vysl(:,1))+0.1*max(vysl(:,1))];
yy=[min(vysl(:,2))-0.1*min(vysl(:,2)) max(vysl(:,2))+0.1*max(vysl(:,2))];
% plot(xx',[mVsr;mVsr],'-g')
% plot([mKsr;mKsr],yy,'-r')

%%%%% boundaries
% delta=3.3*std(vysl(:,1));
% gama=2*std(vysl(:,2));
plot([m1Ksr;m1Ksr],yy,'-r')
plot([m2Ksr;m2Ksr],yy,'-r')
plot(xx',[m1Vsr;m1Vsr],'-g')
plot(xx',[m2Vsr;m2Vsr],'-g')
hold off

load data_pesek_01
vysl(:,5)=repmat([1;2;3;4],30,1);
figure,plot(vysl(:,1),vysl(:,2),'o'),axis([min(vysl(:,1))-0.1*min(vysl(:,1))
max(vysl(:,1))+0.1*max(vysl(:,1)) min(vysl(:,2))-0.1*min(vysl(:,2))
max(vysl(:,2))+0.1*max(vysl(:,2))]),hold on
title('defect'),xlabel('energy(K)'),ylabel('variance(V)')
% mKsr=mean(vysl(:,1));
% mVsr=mean(vysl(:,2));
xx=[min(vysl(:,1))-0.1*min(vysl(:,1)) max(vysl(:,1))+0.1*max(vysl(:,1))];
yy=[min(vysl(:,2))-0.1*min(vysl(:,2)) max(vysl(:,2))+0.1*max(vysl(:,2))];
% plot(xx',[mVsr;mVsr],'-g')
% plot([mKsr;mKsr],yy,'-r')
plot([m1Ksr;m1Ksr],yy,'-r')
plot([m2Ksr;m2Ksr],yy,'-r')
plot(xx',[m1Vsr;m1Vsr],'-g')
plot(xx',[m2Vsr;m2Vsr],'-g')
hold off

[r s]=find(vysl(:,1)>m2Ksr | vysl(:,1)<m1Ksr)

% template
i1=132+2*160;
i2=451+2*160;
j1=609+2*137;
j2=882+2*137;
s1=(i2-i1+1)/2;
s2=(j2-j1+1)/2;
% mm1=bb(i1:i1+s1-1,j1:j1+s2-1);
```

```
% M(:, :, 1)=bb(i1:i1+s1-1, j1:j1+s2-1);
% M(:, :, 2)=bb(i1+s1:i2, j1:j1+s2-1);
% M(:, :, 3)=bb(i1:i1+s1-1, j1+s2:j2);
% M(:, :, 4)=bb(i1+s1:i2, j1+s2:j2);

I=imread('obr.tif');
figure,imshow(I),hold on
rectangle('Position',[j1 i1 s2-1 s1-1],'EdgeColor','y','LineWidth',2);
for iii=1:length(r)
    if vysl(r(iii),5)==1
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4) vysl(r(iii),3) s2-1 s1-
1],'EdgeColor','r','LineWidth',2);
    elseif vysl(r(iii),5)==2
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4) vysl(r(iii),3)+s1 s2-1 s1-
1],'EdgeColor','r','LineWidth',2);
    elseif vysl(r(iii),5)==3
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4)+s2 vysl(r(iii),3) s2-1 s1-
1],'EdgeColor','r','LineWidth',2);
    else rectangle('Position',[vysl(r(iii),4)+s2 vysl(r(iii),3)+s1 s2-1 s1-
1],'EdgeColor','r','LineWidth',2);
    end
end

[r s]=find(vysl(:,2)>m2Vsr | vysl(:,2)<m1Vsr)
for iii=1:length(r)
    if vysl(r(iii),5)==1
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4) vysl(r(iii),3) s2-1 s1-
1],'EdgeColor','g','LineWidth',2);
    elseif vysl(r(iii),5)==2
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4) vysl(r(iii),3)+s1 s2-1 s1-
1],'EdgeColor','g','LineWidth',2);
    elseif vysl(r(iii),5)==3
        rectangle('Position',[vysl(r(iii),4)+s2 vysl(r(iii),3) s2-1 s1-
1],'EdgeColor','g','LineWidth',2);
    else rectangle('Position',[vysl(r(iii),4)+s2 vysl(r(iii),3)+s1 s2-1 s1-
1],'EdgeColor','g','LineWidth',2);
    end
end
```